

トンネルと地下

6

vol. 47
no. 6
2016

and Underground

をさまざまな対策で施工
の施工性の改善および耐久性向上に関する取組み
しい複合地盤で大断面シールドを施工
扁平大断面矩形状シールドの開発と試験施工
定にもとづく東京メトロの浸水対策

日本トンネル技術協会誌



FRD
FURUKAWA

様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

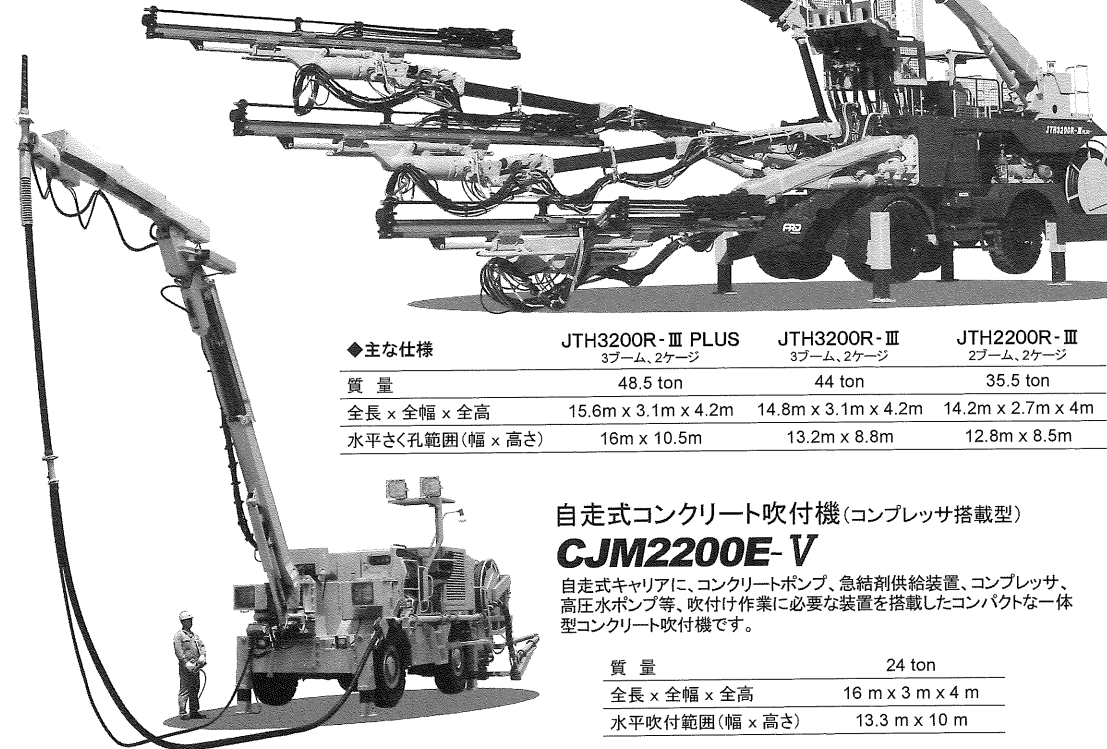
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。



新型油圧ドリフタHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS



◆主な仕様	JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ	JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ	JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ
質量	48.5 ton	44 ton	35.5 ton
全長 × 全幅 × 全高	15.6m × 3.1m × 4.2m	14.8m × 3.1m × 4.2m	14.2m × 2.7m × 4m
水平さく孔範囲(幅 × 高さ)	16m × 10.5m	13.2m × 8.8m	12.8m × 8.5m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-V

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付機です。

質量	24 ton
全長 × 全幅 × 全高	16 m × 3 m × 4 m
水平吹付範囲(幅 × 高さ)	13.3 m × 10 m

△ 古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

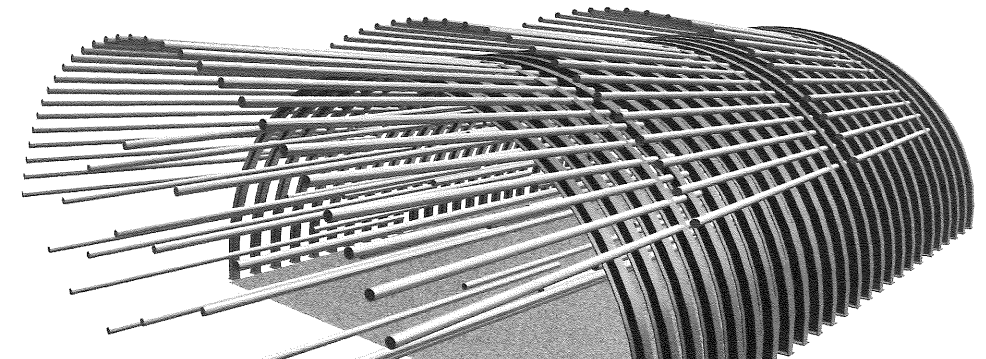
特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611
名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

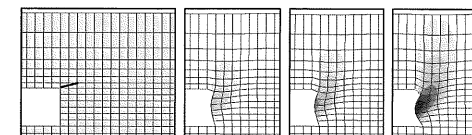
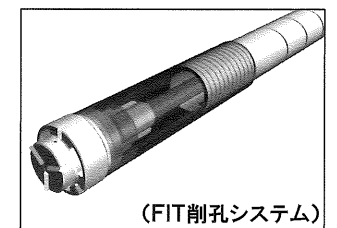
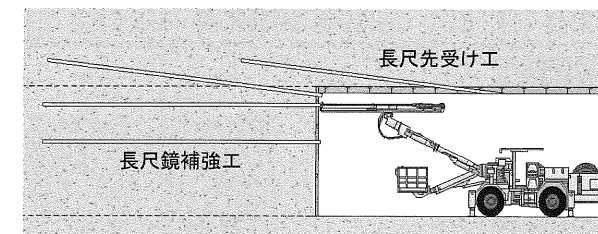
全方位 GFRP 管長尺補強システム

特許登録 第 2955279 号
NETIS登録(No. CB-030065)
施工実績 300 件以上

FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



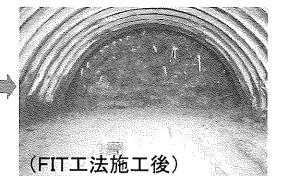
切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。



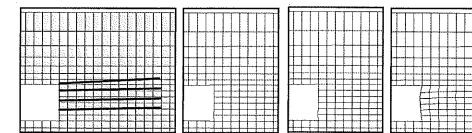
フォアポーリング



(FIT工法施工前)

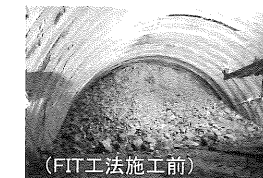


(FIT工法施工後)



FIT工法

(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

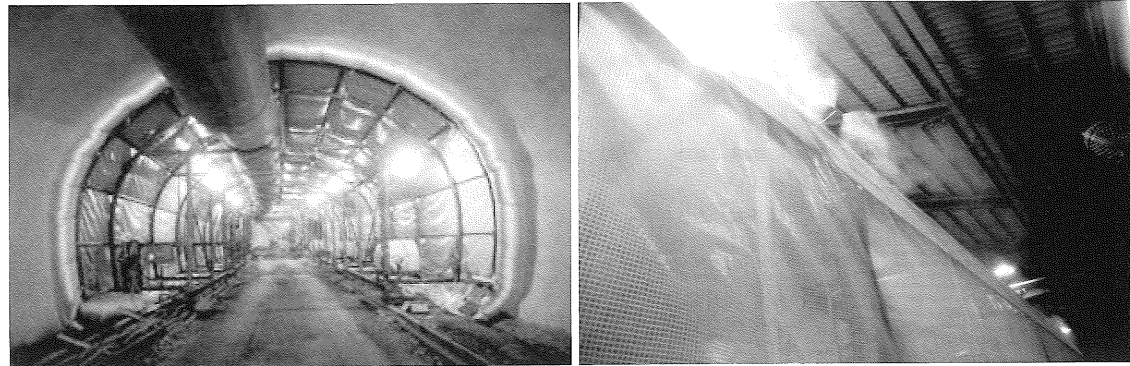
東京土木営業部
大阪土木営業部
札幌支店

TEL (03)6402-8251 FAX (03)6402-8255
TEL (06)6363-1884 FAX (06)6313-0755
TEL (011)751-4681 FAX (011)751-6482

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

トンネル覆工コンクリートの品質革命

散水式による覆工コンクリート養生システム
『トンネルミスト®』 NETIS登録:CG-080012-VR



散水式養生台車を使用します。
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い、湿潤養生を行います。
気密性が保持され、保湿性・保温性が得られます。

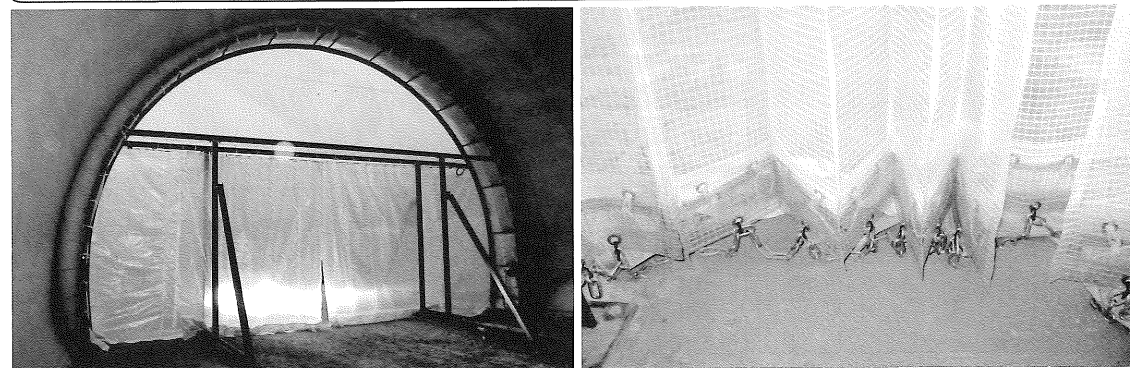
【効果】

- ・コンクリートは密実になり、初期・長期強度を確保できます。
- ・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます。
- ・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます。
- ・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき、コストダウンが可能となります。

実績および採用決定
(平成28年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	51件	5件
NEXCO	9件	5件
その他	41件	14件
合計	101件	24件

貫通後の通風を防止し、ひび割れを抑制します
『トンネルパーテーション』 NETIS登録:CG-110032-A



トンネル貫通後の坑口部に設置し、通風を防止します。
トンネル全断面を通風遮断シートで覆います。
固定式、移動式と用途に応じて仕様を選定できます。

【効果】

- ・貫通後の通風を防止できます。
- ・坑内温度・湿度を一定にできます。
- ・覆工コンクリートのひび割れが低減できます。

実績および採用決定
(平成28年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	8件	11件
NEXCO	4件	3件
その他	10件	8件
合計	22件	22件

株式会社 マシノ トンネルグループ

本社 〒733-0822 広島市西区庚午中1丁目19-23
TEL (082) 507-2737 FAX (082) 507-2721
大阪支店 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3丁目16-3
TEL (06) 6389-6400 FAX (06) 6389-6410

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

補助工法ラインナップ

- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種 長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式 長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

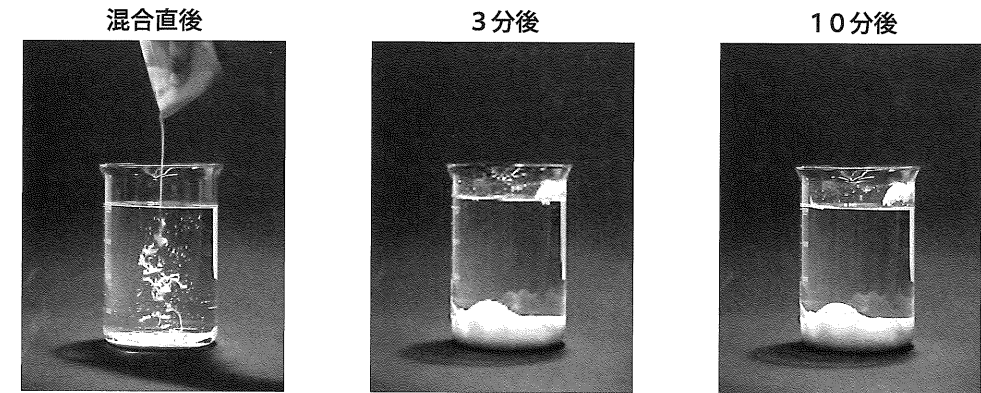
※特許取得, NETIS登録されているもの
がありますので、お問い合わせください。

当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

スーパーSRFは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し、湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります。更に、多くの特許を取得しているため、他が追従できない商品です。

スーパーSRFの優位性

スーパーSRFは、水に溶解、希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため、湧水地山においても、水の白濁や泡立ちが発生せず、地山中に沈着し強固に結合するため、湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します。これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり、多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です。



混合直後

3分後

10分後

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

TEL) 052-331-8821 FAX) 052-332-0164

東京支店

TEL) 03-3260-8321 FAX) 03-3266-1648

東京支店(仙台事務所)

TEL) 022-344-6041 FAX) 022-344-6042

関西営業所

TEL) 06-6578-3235 FAX) 06-6578-3237

九州営業所

TEL) 092-574-0856 FAX) 092-574-0846

北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)

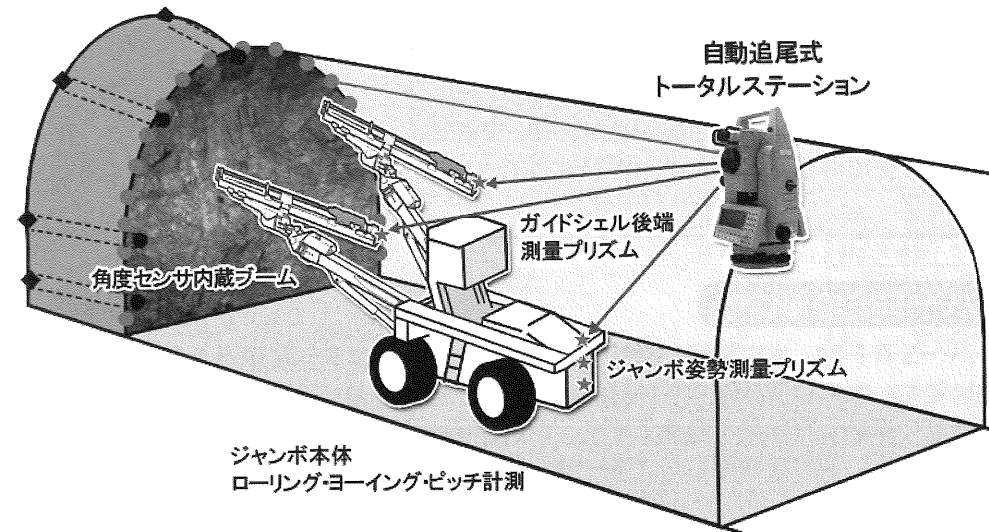
TEL) 011-821-5868 FAX) 011-821-6644

NETIS登録番号:KK-100049-A

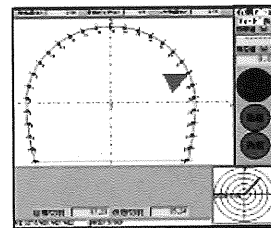
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器(トータルステーション)との連動により、外周装葉孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシールの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

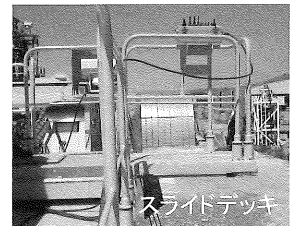
全断面对応トンネル高速施工掘進機 ロードヘッド SLB-350S



全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

- 国内最大の350kW-4/6P 定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても充分な掘削能力を発揮します。
- 切削高さは最大8.8mになり、大断面トンネルにおける全断面掘削、及び上半掘削が可能です。
又、中折れブームを使用することで、ベンチ長を最大5mまで確保できます。
- 低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。



製造、販売、レンタル及びメンテナンス **三井三池製作所**

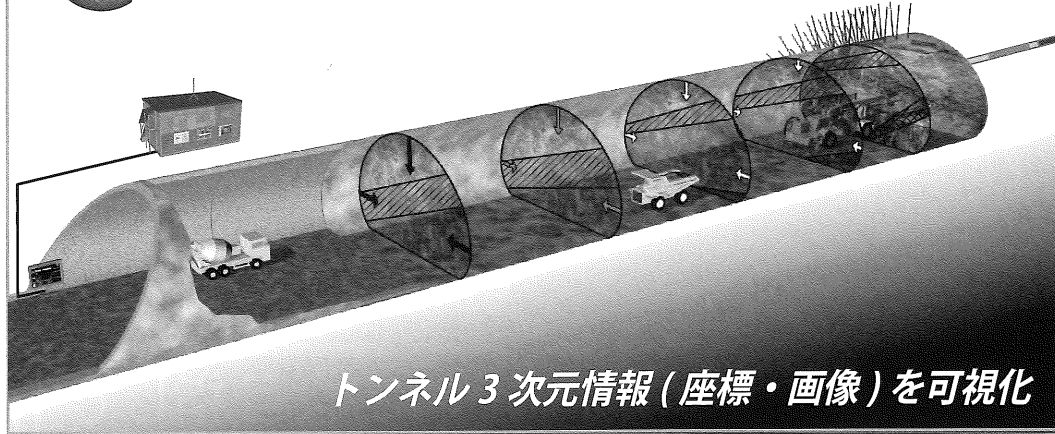
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

http://www.mitsumiike.co.jp E-mail: sanki@mitsumiike.co.jp

トンネルCIM



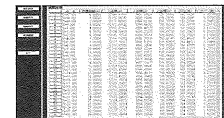
3D可視化プラットフォームによる
CIM Communication (情報共有・一元管理)



トンネル3次元情報(座標・画像)を可視化

基礎資料の収集

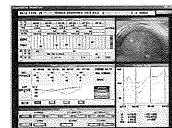
モデル作成に必要なデータや管理したい調査データを収集します。



線形情報(設計)



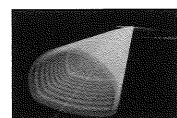
支保パターン情報(設計)



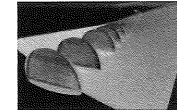
CyberNATM

1 初期モデルの作成

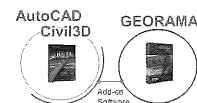
基礎資料をもとにCivil3D/GEORAMAを利用してモデル化を行います。



初期構造モデル



初期地盤情報モデル

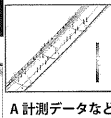


2 施工モデルの作成

計測データや施工属性データをモデル化に反映し、日々の工事状況を可視化、管理していきます。



観測データ

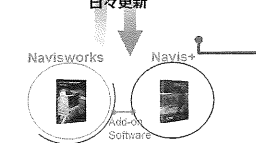


A計測データなど



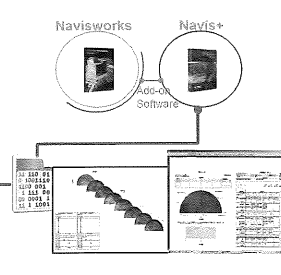
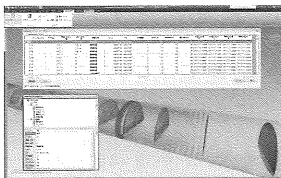
CyberNATM

日々更新



3 維持管理モデル

施工時に作成したモデルを利用して維持管理側でも利用します。追加の情報はエクセル等を用いて、その都度更新が可能です。



現在稼働中も含めて多数の実績があります。CIMに関する相談は、下記にお問い合わせ下さい。

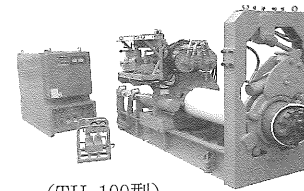


株式会社 演算工房

■ 本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町 237 番地 3
TEL : 075-417-0100 FAX : 075-417-0200

THパイプルーフ工法

NETIS 登録 No.KT-120020-A

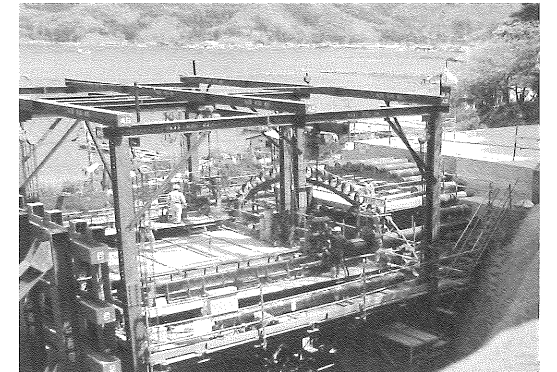


(TH-100型)

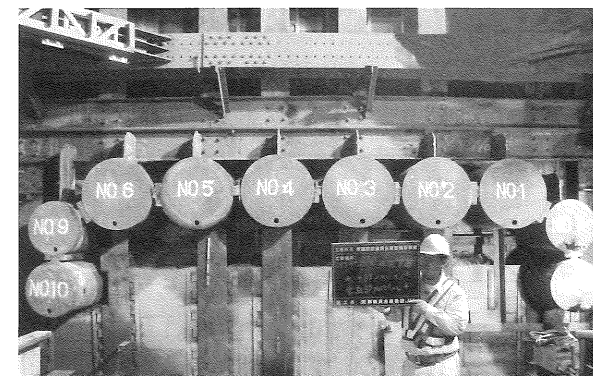
確実な空間確保
高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

★ 特徴 ★

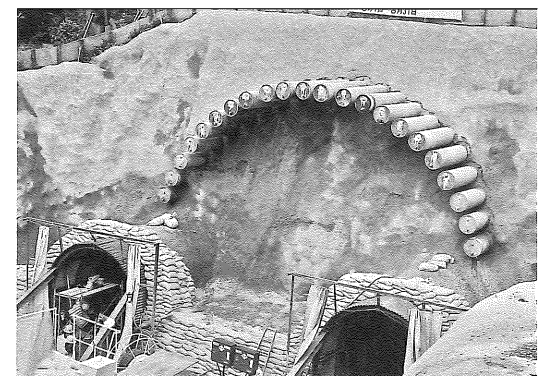
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A～φ1200A
- ・最大推進長は、約70～100m
- ・推進機は、推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会員〕 ※会員募集中 [お問い合わせは 下記 事務局へ]

(株)小宮山土木 長野県 TEL 0267-56-1299
東洋地工(株) 福井県 TEL 0776-53-5335
日特建設(株) 東京都 TEL 03-3542-9120
ケミカルグラウト(株) 東京都 TEL 03-5575-0511
(株)最上機工 山形県 TEL 0233-23-1555
サン開発工事(株) 大阪府 TEL 072-641-4951

東邦地下工機(株) 東京都 TEL 03-3474-3143
日本基礎技術(株) 東京都 TEL 03-5365-2500
(株)大阪防水建設社 大阪府 TEL 06-6762-5621
多田建設(株) 福島県 TEL 024-535-6161
札幌黒澤工業(株) 北海道 TEL 011-215-7500
(順不同)

<http://www.piperroof.jp> (ホームページです。ここから資料が取り出せます。)



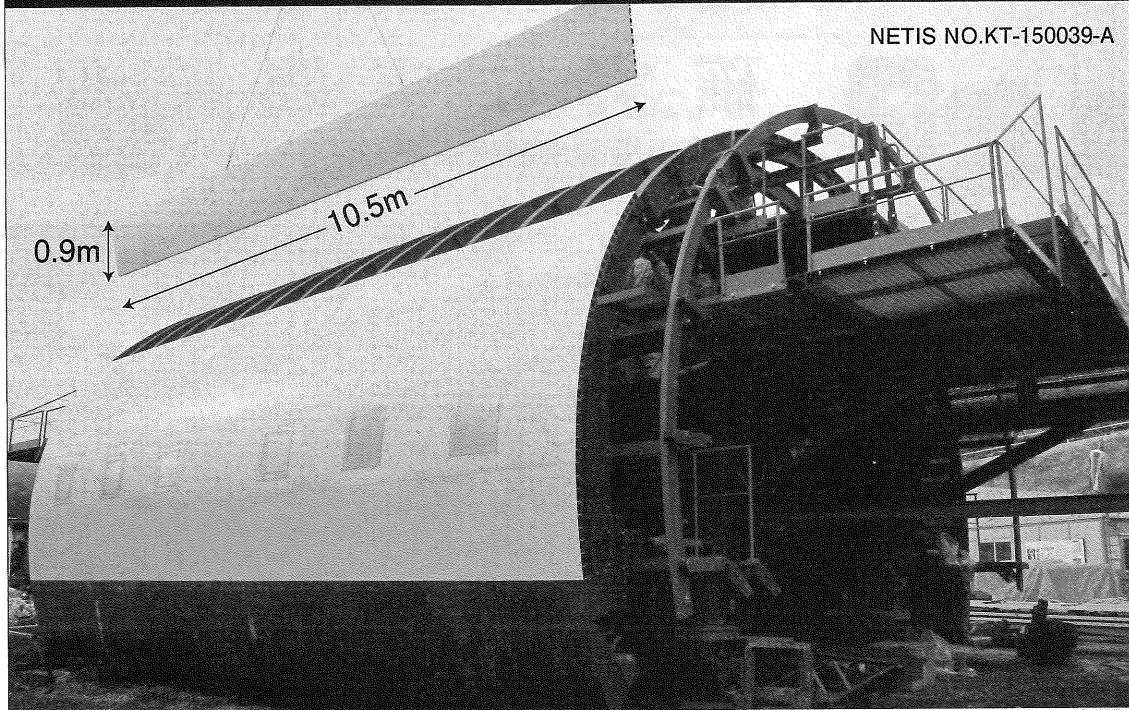
THパイプルーフ技術協会

〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
TEL 03-3474-3143 FAX 03-3474-3163 E-mail: jimukyoku@piperroof.jp

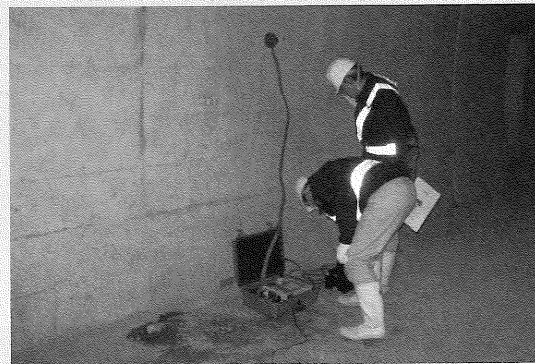
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



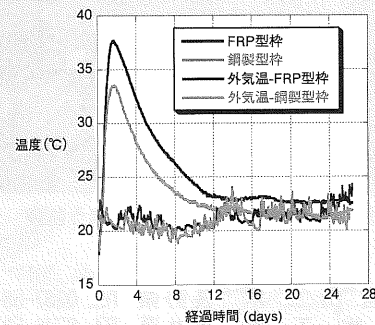
■透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上

■覆工コンクリート温度の経時変化

【宮崎大学との共同研究により、横アジタ 古江トンネル南にて測定】



○3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

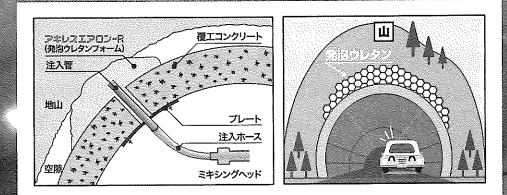
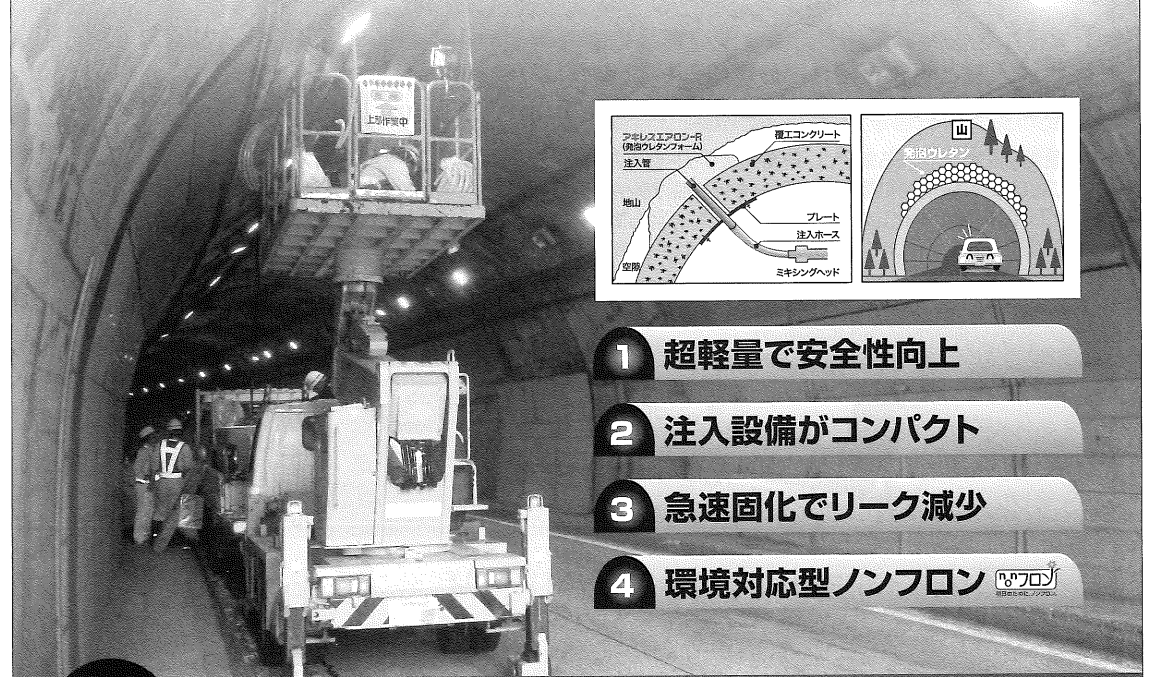
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号	TEL:092-409-8008
■ 指定工場	〒919-0441	福井県坂井市春江町定重(森本工業)	TEL:0776-51-2410

NETIS登録番号 KT-070035-VR

アキレスTn-p工法

トンネル裏込補修用ウレタン注入工法 老朽化したトンネルを災害から守る新しい工法です



- 1 超軽量で安全性向上
- 2 注入設備がコンパクト
- 3 急速固化でリーク減少
- 4 環境対応型ノンフロロ

NETIS 平成26年度 活用促進技術(新技術活用評価会議)に指定!

「活用促進技術」とは

- 総合的に活用の効果が優れている技術
 - 特定の性能又は機能が著しく優れている技術
 - 特定の地域のみで普及しており、全国に普及することが有益と判断される技術
- に該当する技術から選考されます。

NETISに登録された新技術を活用することにより

入札・契約時 総合評価方式での提案で加点対象

完成時・完成後 工事成績評価において加点対象

になる場合があり、さまざまな利点があります。

あなたの身近にいつも...

Achilles
アキレス株式会社

断熱資材販売部

本社	〒169-8885	東京都新宿区北新宿2-21-1	03-5338-9642
関西支社	〒530-0005	大阪府大阪市北区中之島2-2-7	06-4707-2355
北海道営業所	〒061-3241	北海道石狩市新港西1-726-3	0133-73-9591
九州営業所	〒813-6591	福岡県福岡市東区多の津1-1-4	092-622-2871

Tn-p工法

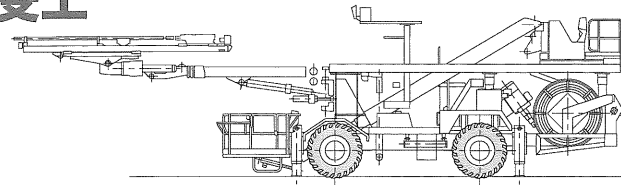
検索

<http://www.achilles-foamsystem.com/>

環境対応型長尺鋼管先受工

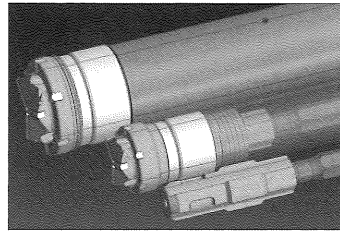
TOHO **AGF** System

All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method

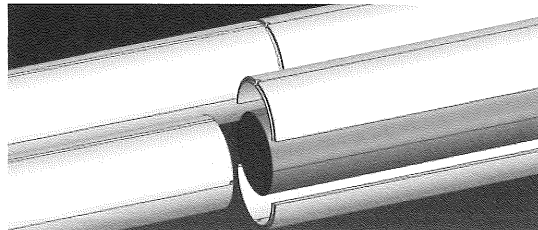


AGF-Me工法

- トンネル掘削時に露出した末端管を容易に切除可能
- 硬化注入材と鋼管を容易に分別処理して、鋼管はリサイクルへ
- 豊富なサイズ、114.3mm・101.6mm・76.3mm・60.5mm



最後端部に接続される鋼管は、縦貫通スリット管を用いることにより、掘削時に露出した鋼管を折り曲げ除去するだけで、内部の硬化した注入材と鋼管とを分離して、分別処理を簡便に行えるようにした環境対応型長尺鋼管先受工です。



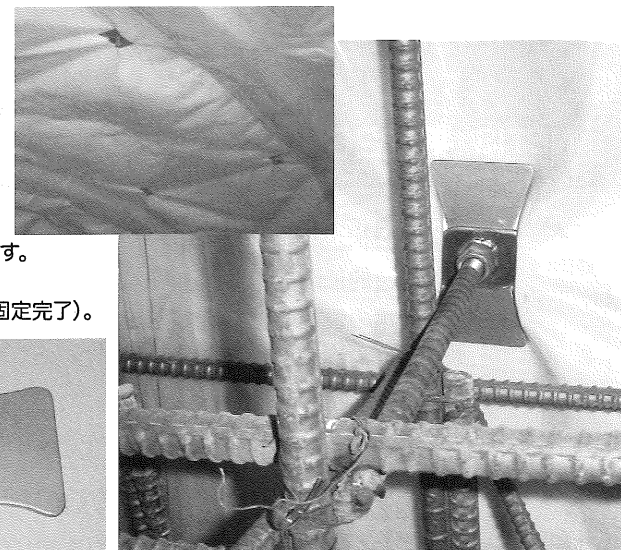
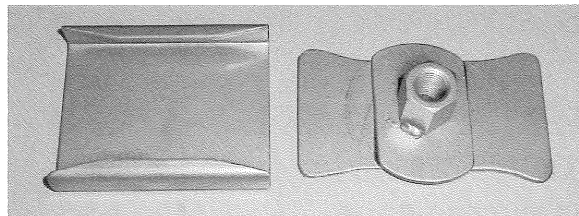
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグripper

- 防水シートへの穴あけ不要
- 一人で容易に取り付けが可能
- 外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

- 支保工へ溶接したグripperに防水シートを当てます。
- 回転プレートを押し込みます。
- ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051
大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階
Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

株式会社 トーキョーオール

〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**
(お問い合わせ先)

月刊推進技術

購読のご案内



年間定期購読料金 **12,337円** (1冊1,130円(本体952円 税76円 送料102円))

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO₂排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

月刊推進技術

検索



月刊推進技術 編集室

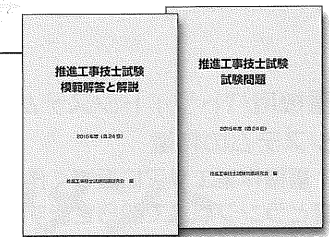
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

推進工事技士試験 過去14年間(平成14~27年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



2015年度版発売中!!

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(公)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管路施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応じて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご利用いただければ幸いです。

1. 内容と特長

- 過去14年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。 [推進工事技士試験](#)

検索

株式会社 LSプランニング

<http://www.lswb.co.jp/shiken/annai>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

ゴムローラ式エレクトー付 コンクリート吹付システム
『新型スコピオン NSCPI-TN』



安全・操作性を徹底的に追求した次世代型吹付機！
状況に応じキャッチャーやポンプの選択が可能！

項目	単位	仕様	項目	単位	仕様
1 型 式	-	NSCPI-TN	10 吹付容量	m³	172
1-1 寸 法	mm	13450×181	11 吹付距離	m	4400
全 高	mm	3155	12 プーム長さ(上下)	mm	45-30
全 幅	mm	3350	13 プーム長さ(左右)	mm	400
1-2 機 体	kg	48000	14 プーム長さ(前後)	mm	45-30
1-3 吹付能力	kg	1000	15 プーム長さ(前後)	mm	1800-4915
1-4 吹付能力	kg	1000	16 プーム長さ(前後)	mm	2000-28
1-5 吹付能力	kg	1000	17 プーム長さ(前後)	mm	11.9
1-6 吹付能力	kg	1000	18 プーム長さ(前後)	mm	15
1-7 吹付能力	kg	1000	19 プーム長さ(前後)	mm	5.9
1-8 吹付能力	kg	1000	20 プーム長さ(前後)	mm	37
1-9 吹付能力	kg	1000	21 プーム長さ(前後)	mm	11.9
1-10 吹付能力	kg	1000	22 プーム長さ(前後)	mm	15
1-11 吹付能力	kg	1000	23 プーム長さ(前後)	mm	5.9
1-12 吹付能力	kg	1000	24 プーム長さ(前後)	mm	37
1-13 吹付能力	kg	1000	25 プーム長さ(前後)	mm	11.9
1-14 吹付能力	kg	1000	26 プーム長さ(前後)	mm	15
1-15 吹付能力	kg	1000	27 プーム長さ(前後)	mm	5.9
1-16 吹付能力	kg	1000	28 プーム長さ(前後)	mm	37
1-17 吹付能力	kg	1000	29 プーム長さ(前後)	mm	11.9
1-18 吹付能力	kg	1000	30 プーム長さ(前後)	mm	15
1-19 吹付能力	kg	1000	31 プーム長さ(前後)	mm	5.9
1-20 吹付能力	kg	1000	32 プーム長さ(前後)	mm	37

T&M
Tunnel & Mining
ニシオティードエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
<http://www.nishio-tm.co.jp>

- 〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1
- 北海道営業所
TEL:0133-72-3715
 - 東北営業所
TEL:0197-71-2405
 - 東日本支店
TEL:0268-62-1426
 - 浜松営業所
TEL:0538-66-0166
 - 西日本支店
TEL:072-677-2101
 - 九州支店
TEL:0982-26-2111
 - 福岡営業所
TEL:092-976-6331

SUMTEC
SK30

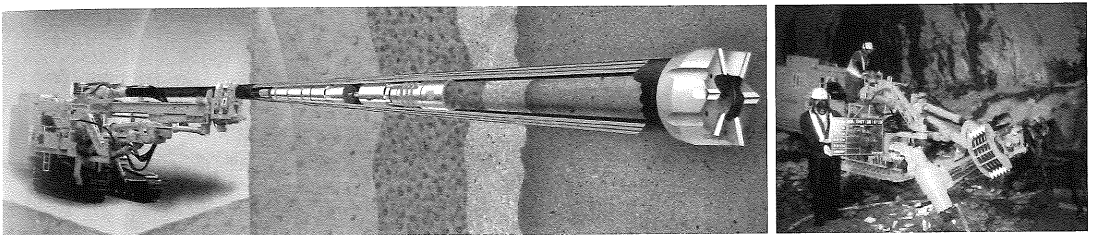
Putzmeister
BSA703-E

トンネルの掘削や岩盤の掘削に応じて、より現場に適したコンクリートポンプの選択が可能です。
掘削現場で実績のあるポンプの種類は、このカタログに掲載していません。
そのほかのポンプの種類や詳細な仕様については、お問い合わせください。
取付、取付の取付図等は、お問い合わせください。
※お問い合わせの際は、必ずこのカタログを参照してください。

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

- 断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実にこなえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。



地盤に
KOKEN 鉦研工業株式会社
お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部
TEL: 03-6907-7512 FAX: 03-6907-7522
<http://www.koken-boring.co.jp>

北海道支店: (011)561-4961 東北支店: (022)762-6075 信越支店: (025)275-6877 首都圏事業部: (03)-6907-7511
大阪支店: (06)6385-0350 中国支店: (083)972-8757 九州支店: (092)924-5001 海外事業部: (03)-6907-7515

「デジ ー・パー」

技術提案・創意工夫
イメージアップ

重機用パトライトシステムで接触災害防止
システムの特徴

重機作業エリアに近づく作業員・現場職員がリモコンボタンを押すと、オペレーターにブザー音とランプ点滅で知らせます。オペレーターが確認し、操作/受信BOXのボタンを押すと重機の積層パトランプが緑色点灯に変わり「一方通行ではない意思の疎通」が迅速にとれます。



機材一式 オペレーター操作状況 重機取付け状況

- 《取り扱い商品》
- ・ 削孔ツール全般
 - ・ 空撮業務 (マルチコプター)
 - ・ トンネル入出坑、坑内管理システム
 - ・ 振動・騒音自動監視警報システム
 - ・ 建設資材全般 (吊鉄筋金具、コンクリート養生マット、安全用品、工具、他)
 - ・ 長尺水抜き鋼管削孔システム
 - ・ LED照明
 - ・ ダンプ運行管理システム
 - ・ 補助工法注入管理

《問い合わせ先》
株式会社アローズ 代表取締役佐川和矢
Mobile: 080-1604-1097 (365days 24h OK)
〒168-0064 東京都杉並区永福2-36-4-107
TEL: 03-3327-7089 FAX: 03-6800-2163
E-mail: k.sagawa@arrows-sgw.com
URL: www.arrows-sgw.com

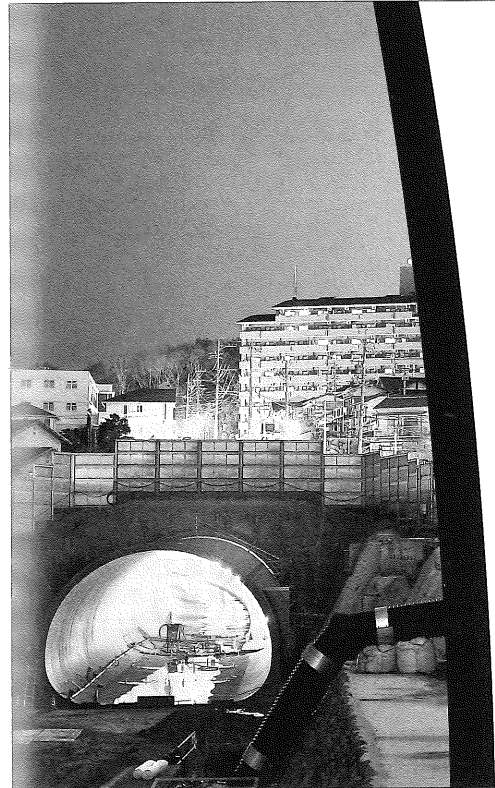
振動
マネージメント
ソリューション

近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余地は殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となってきました。

オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-Tまた、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思います。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどのような形で貴社のお手伝いを出せるかについて orca.com/edevill にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

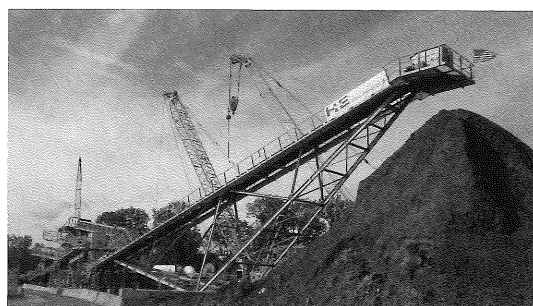
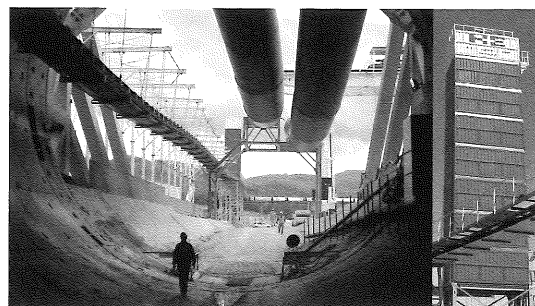
orca.com





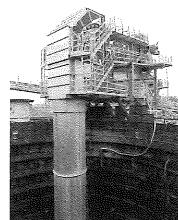
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



Tunnel Diameter: 7.10 m
 Min. Radius: 1,000 m
 Minera l: EPB
 TBM Supplier: Herrenknecht
 Conveyor Length: 2,500 m
 Belt Width: 1,200 mm
 Capacity: 2,000 t/h
 Installed Power: 2×355 kW
 Belt Storage Capacity: 400 m / vertical

Tunnel Diameter: 11.30 m
 Min. Radius: > 457 m
 Minera l: EPB, Hard Rock
 TBM Supplier: Herrenknecht
 Conveyor Length: 5,410 m
 Belt Width: 1,000 mm / 1,600 mm
 Capacity: 1,200 t/h
 Installed Power: 4×160 kW, 2×90 kW
 Belt Storage Capacity: 2×300 m / horizontal



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 富樫

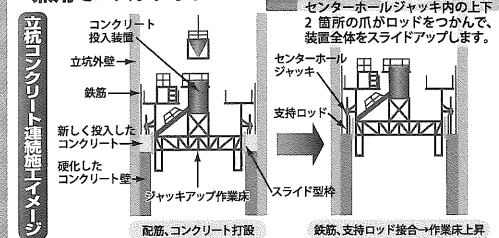
〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

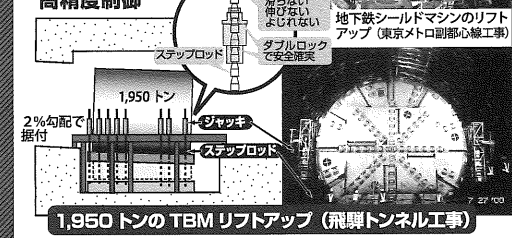
立坑スリップフォーム工法

- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカーフ兼用でコストダウン



シールドマシンTBMアップダウン

- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御



営業品目

■ ジャッキリース・オペレータ
■ 架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部 特殊工法グループ

〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)
TEL: 03-3864-5293 FAX: 03-3864-7319
URL http://www.jfe-civil.com/ E-mail jack@jfe-civil.com

VOLVO 建設機械

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ建機社 日本代理店 担当: 浅野
(直通) TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162



多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店
担当: 富樫



山崎マシーナリー株式会社

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

【好評発売中】

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 税込340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

1. 地球の構造 2. 地層や岩石の分類 3. 地質作用 4. 地質構造 5. 地形と地質との関わり 6. 日本の地質 7. 地下水

第II編 トンネル工事と地質条件

1. 路線選定と地質条件 2. トンネル工法・掘削工法と地質条件 3. 掘削方式と地質条件 4. トンネル掘削に伴う地質的現象

第III編 地質調査法

1. 地形・地質調査一般 2. 既存資料調査 3. 空中写真判読 4. 地質路査 5. 弾性波探査 6. 電気探査 7. その他の物理探査法
8. ボーリング調査 9. ボーリング孔を利用して行う調査 10. 室内試験 11. 調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12. 水文調査・地下水調査 13. 立地条件調査

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

1. 調査の基本 2. 地山条件の調査の流れ 3. トンネル工事のための地山評価法 4. 調査の成果

お申し込みは、当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ、お申し込みください。

株式会社 土木工学社

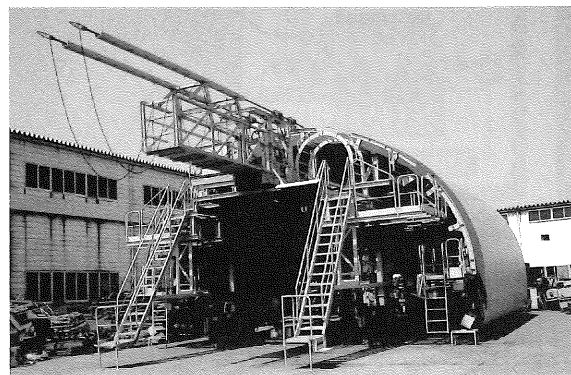
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V
(平成 26 年度活用促進技術)



期待される効果・特徴

- ・トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- ・高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- ・鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る
(但し、カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- ・覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-VR (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

- ・セントルと養生台車を連続してシートで覆い、坑内通気から遮断し、乾燥収縮クラックを防止する
- ・脱型直後の覆工コンクリートに水を噴霧し、湿潤状態を保持し、初期強度を向上させる
- ・養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て、覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ・3台連結することにより7日間の湿潤養生が出来る

北陸鋼産株式会社

URL <http://www.hokuriku-kosan.co.jp>

北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地 TEL076(476)2155 FAX076(476)2177

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

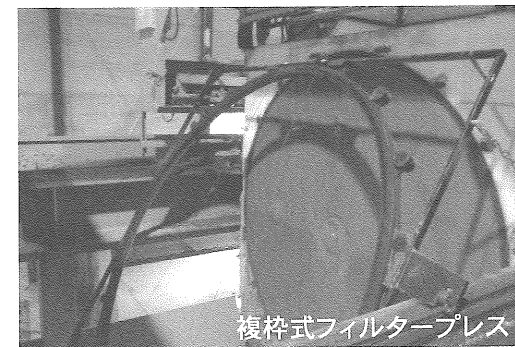
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

1. シックナーを大型化し、沈降面積を増やし槽内流速を抑えています
2. 複枠式フィルタープレスにより、確実な自動運転を実現しています
3. 砂ろ過装置、高分子自動溶解装置等豊富なオプション設備で様々な条件に対応します

《汎用車両全般》



VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5 m³バケセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

■巻頭言

シールド万感

久保田政宏 5

■解説

最近の水害想定にもとづく東京メトロの浸水対策

大塚 努・保栖 重夫・佐々木孝太 59

■施工

多量湧水区間をさまざまな対策で施工

—北海道新幹線(新函館北斗・札幌間) 村山トンネル—

永利将太郎・長川 善彦・中田 暁之・大畑 雅義 7

トンネル覆工の施工性の改善および耐久性向上に関する取組み

—国道45号吉浜釜石道路 荒川・唐丹第1トンネル—

手間本康一・泉水 大輔・赤間 友哉・桜井 邦昭 17

掘進管理の難しい複合地盤で大断面シールドを施工

—広深港高速鉄道 XRL825トンネル—

山口 英・坂本 式隆 29

中国における扁平大断面矩形状シールドの開発と試験施工

—寧波市地下鉄3号線引込み線—

橋本 正・朱 瑶宏・朱 雁飛・早川 清 49

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(7)

—硬岩トンネル掘削機TM-100—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 69

■現場だより

「味覚と化石の宿るまち」篠山市より

西郷 宏文 28

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

「アリマックのHORIBA」始末記

堀場 秀享 39

■資料

土木情報

編集部 38

工法・技術・製品ニュース

編集部 68

トンネルジャーナル

編集部 48

■会報

会報

日本トンネル技術協会 77

コンクリートの情報化施工に新時代到来！配線手間が不要！ NETIS登録番号 QS-110040-VE

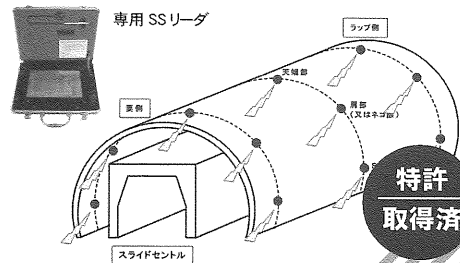
スマートセンサ型枠システム・セントル仕様

★使用料金大幅プライスダウン!!!

スマートセンサシステム (1セット=1断面5台×3列=15台)
・使用料金 120,000円 → 90,000円/打設回数(基本料金含む)
・取付け・調整料金 400,000円/回/1セット(センサの穴あけ別途)
・取外し・校正料金 400,000円/回/1セット(センサ部分の穴埋め別途)

SSリーダー
・使用料金 2,500円/日(基本料金含む)
・諸経費・一般管理費(技術指導・動作確認含む)

児玉株式会社 092-474-5360
エンジニアリング事業部 〒812-0042 福岡市博多区豊2丁目4-23



特許取得済

【表紙説明】

中国における扁平大断面矩形状シールドの開発と試験施工
—寧波市地下鉄3号線引込み線—



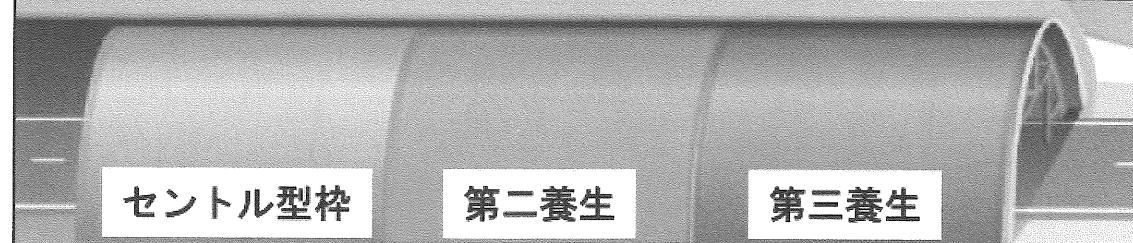
寧波市地下鉄3号線引込み線では、中国初の矩形状シールド工法の確立を目指し、縦横比0.6の扁平大断面矩形状土圧シールドによる試験工事を実施した。

軟弱鋭敏粘性土地盤における小土かぶり、平面・縦断曲線の競合下という条件で、シールドやセグメントなどの設計・施工計画を検討し、実施工では慎重な施工管理、不具合発生の兆候把握や対策施工に努めた。写真は中国寧波市地下鉄3号線坑口全景である。
【写真提供：上海隧道工程有限公司】(本文49頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



セントル型枠

第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



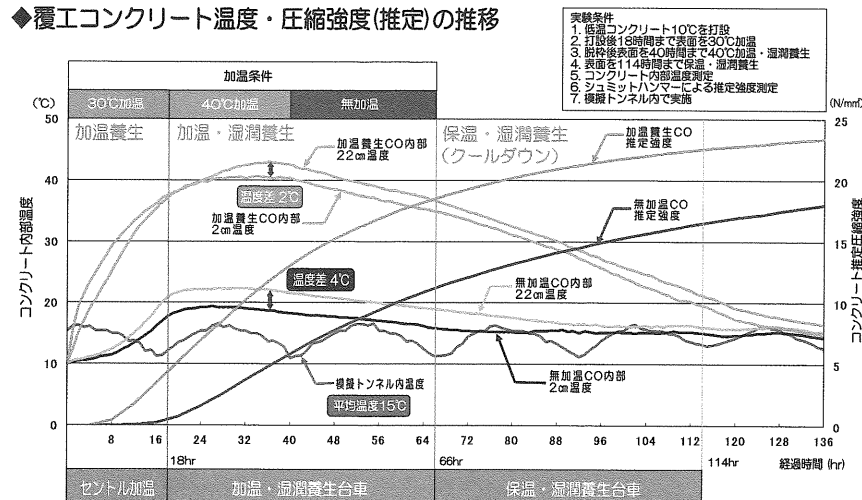
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地 TEL 058-257-1000(代) FAX 058-257-1013
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店 TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【製作・販売協力】

TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUKOU
株式会社 東 宏

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

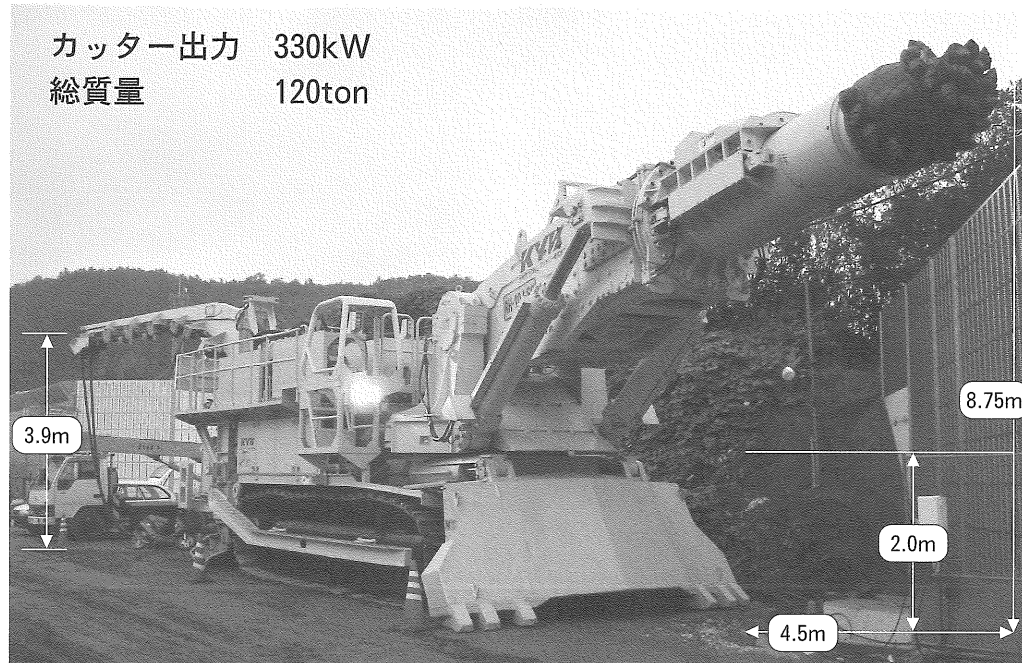
〔幹 事〕

- | | |
|---|---|
| 居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長 | 藤 井 義 文
株式会社竹中土木常務執行役員 |
| 伊 藤 聡
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長 | 松 原 利 之
飛鳥建設株式会社土木事業本部
エンジニアリング部部長 |
| 江戸川 修 一
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部長兼機械技術部長 | 森 正 彦
前田建設工業株式会社土木事業本部
トンネル担当部長 |
| 久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長 | 八 木 弘
株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)
道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 見 坂 茂 範
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 | 吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与 |
| 西 岡 和 則
鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 | 渡 邊 修
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長 |

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

<http://www.kyb-ksm.co.jp>

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
相模事業所
大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
福岡支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

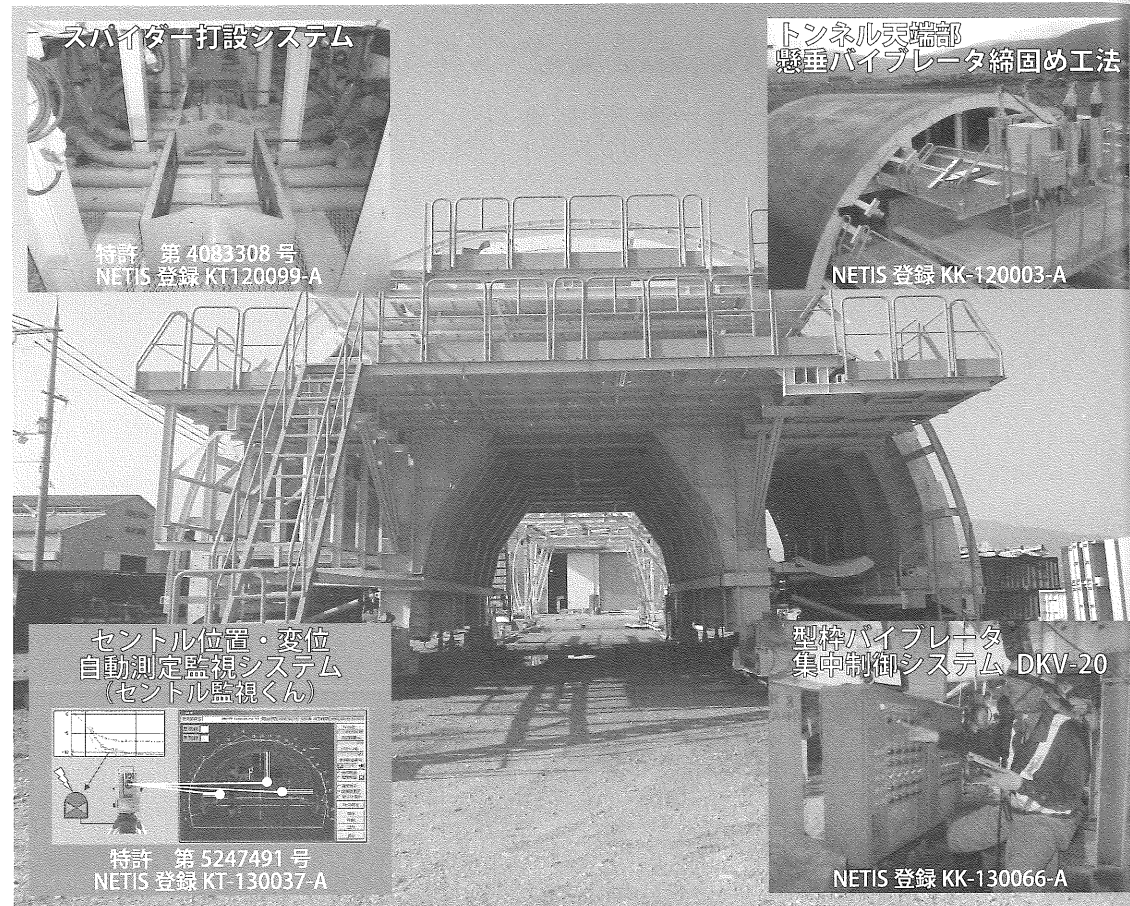
〔編集参与〕

大島 洋志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	今田 徹 東京都立大学名誉教授
木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土土地盤研究担当	松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事
	山田 隆昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート)

〔委員〕

家壽田 昌司 東京都下水道局建設部設計調整課長	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室上席研究員
中谷 誠一 東京都水道局建設部工務課長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長	山本 武史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
真下 英人 (前)国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長	吉本 正浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPS パネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	28	0
NEXCO	6	1
地方自治体	25	4
鉄道・運輸機構	1	0

平成28年4月1日 現在

実施権許諾第 10396 号
NETIS 登録 (No.CB-090003-VE)

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp

営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

トンネルと地下 VOL.47 No.6 掲載概要

掲載頁
7

多量湧水区間をさまざまな対策で施工

—北海道新幹線(新函館北斗・札幌間) 村山トンネル—

鉄道・運輸機構 永利将太郎

本トンネルは、2016年3月に開業を迎えた北海道新幹線(新青森・新函館北斗間)の延伸区間となる。北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)のトンネル群の中でもっとも起点側に位置し、最初に工事着手した工事である。工事はNATMによる機械工法とし、全延長5,265mのうち掘削は約1,200mまで進んでいる(2016年3月時点)。地質としては未固結の砂礫層、凝灰角礫岩、火山角礫岩などであり、全線にわたり地下水位下での掘削になると想定している。本稿では、切羽前方の地下水位低下対策、水圧を考慮した切羽安定対策や、地層境での突発湧水対策など、これまでのトンネル掘削における、湧水対策とその施工状況を報告するものである。

Tunneling with Various Measures against Large Water Inflow—Hokkaido Shinkansen (between Shin-Hakodate-Hokuto and Sapporo) Murayama Tunnel—

By Shotaro Nagatoshi, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

This report concerns the construction of Murayama Tunnel that is located closest to the Shin-Hakodate-Hokuto station of the Hokkaido Shinkansen (between Shin-Hakodate-Hokuto and Shin-Aomori) and is the first tunnel to be constructed. It is extension section of the Hokkaido Shinkansen (between Shin-Aomori and Shin-Hakodate-Hokuto)



写真は水抜き状況(湧水量約490L/min)

which opened in March, 2016. The works of The Murayama Tunnel have been conducted using the sequential excavating method with machineries and approximately 1,200m of the total length of 5,265m has been excavated (as of March, 2016). Geological condition consists of unconsolidated sand gravel, tuff breccia and volcanic breccia and it is expected that all excavation works will be under the underground water level. Consequently, this report contains information on measures against water inflow and construction status in tunnel excavation up to the present such as measures to reduce underground water level in front of tunneling face, measures to stabilize faces considering water pressure and measures to prevent outbreaks of welling water in stratum boundaries.

掲載頁
17

トンネル覆工の施工性の改善および耐久性向上に関する取組み

—国道45号吉浜釜石道路 荒川・唐丹第1トンネル—

国土交通省 手間本康一

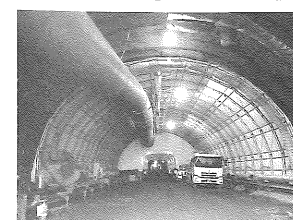
本工事では、耐久性の高い高品質なトンネル覆工を構築することを目的として、適切なコンクリート配合および養生方法を決定するために事前に模擬部材を用いた検証実験を行い、結果を実施工に反映した。また、実施工時には目視調査評価票を用いて構造物の出来映えを評価し、その結果にもとづき施工方法の一部を改善した。

今回採用した中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートに比べ、高い流動性を長時間保持でき、側壁部および天端部に容易に充填できることから、確実な施工が可能となった。また、脱型後の湿潤養生期間を延長することで、コンクリートの表層品質が改善され、耐久性を向上できることを確認した。さらに、目視調査評価票による評価をもとに、コンクリートの打込み口の増設や検査窓枠への吸水性シール材の設置など施工方法を改善することで、出来映えをさらに向上できた。

Improve Workability and Durability of Tunnel Lining—National Route 45 Yoshihama-Kamaishi Road Arakawa / Toni No.1 Tunnel—

By Koichi Temamoto, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The purpose of these works was to construct a high quality tunnel lining with a high level of durability. Verification tests were conducted in advance using simulated members in order to select suitable concrete composition and curing methods and these results were reflected in the construction works. After construction the show of the structure was evaluated using a visual inspection evaluation sheet and a part of the construction method was reviewed as a result of



写真は実施工における湿潤養生の実施状況

them. The middle performance concrete used in this construction can maintain a high level of fluidity over a long period of time compared to traditional lining concrete and due to the ease of pouring the walls and ceiling, it was possible to build reliably. In addition, concrete surface quality was improved by extending the wet curing period after stripping concrete forms and an increase in durability was confirmed. Furthermore, based on the results of visual inspection evaluation sheets, it was possible to further improve show by improving construction methods such as increasing the number of concrete pouring openings and using water-absorbent sealant for inspection window frames.

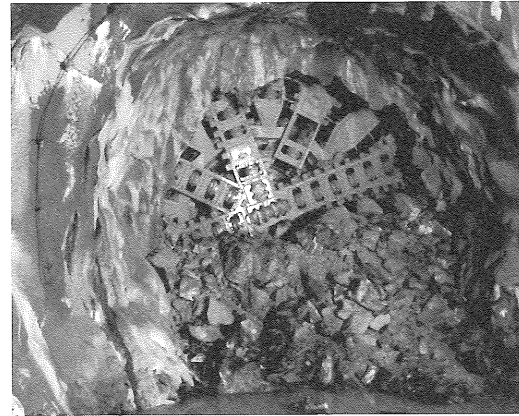
掘進管理の難しい複合地盤で大断面シールドを施工

—広深港高速鉄道 XRL825 トンネル—

五洋建設(株) 山口 英

中国広東省広州市と香港西九龍地区を結ぶ高速鉄道(XRL: Express Rail Link)プロジェクトの一環で香港区域内約26kmのうち、2.35kmのトンネル工事について述べるものである。

仕上がり内径φ8.15mの上下線トンネルを泥土圧シールド工法にて施工した。岩盤層と土砂層から構成される複合地盤に遭遇し、その施工は難行した。本稿はその複合地盤のシールド掘進において、硬質岩盤によるカッタ部材の損傷とその交換、またその損傷を低減しかつ上部の土砂層の緩みを抑制する掘進管理など、施工に伴い発生した問題点とその対応経緯について報告する。



写真はシールド到達状況

Large Shield TBM Drive in Composite Ground Difficult to Manage Excavation —Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link XRL825 Tunnel—

By Ei Yamaguchi, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

This report concerns the construction of a 2.35km tunnel on the 26km-long Hong Kong territory portion as part of the XRL: Express Rail Link Project that links Guangzhou City in Guangdong Province and the West Kowloon District of Hong Kong in China.

The inbound/outbound tunnel with a final inner diameter of φ8.15m was constructed with the EPB Shield TBM. Excavation encountered composite ground composed of rock and soil that make excavation difficult. This report contains information issues that occurred during construction and the measures to these such as damage to the cutters due to hard rock and its replacement and excavation management that reduces damage and controls looseness in upper soil.

中国における扁平大断面矩形形状シールドの開発と試験施工

—寧波市地下鉄3号線引込み線—

(株)地域地盤環境研究所 橋本 正

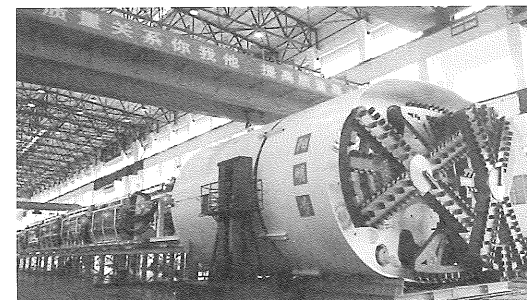
市街地などに地下鉄を建設する場合、従来の円形シールド工法では周辺への影響度が大きく、周辺影響を最小化するために中国初の矩形形状シールド工法の確立を目指し、試験工事を実施した。軟弱鋭敏粘性土地盤における小土かぶり、平面・縦断曲線の競合下という条件で、縦横比0.6の扁平大断面矩形形状土圧シールドによる施工である。

事前にマシン、セグメントなど十分な設計・施工計画を検討し、実施工では慎重な施工管理、不具合発生の兆候把握や対策施工に努めた。その結果、100mの施工区間ではあるが、トンネル変状もほぼなく、地盤沈下も少なく順調に掘進が行えた。ここでは、矩形形状特殊シールドの開発経緯と試験工事結果について概要を報告する。

Development and Test Construction Using the Flat Large Rectangular Shield TBM in China—Neiha City Underground Line 3 Service Line—

By Tadashi Hashimoto, Geo-Research Institute

When constructing a subway in urban areas, there are major effects on the surrounding area using conventional cylindrical shield TBM. The test construction with the first rectangular shield TBM in China was implemented in order to minimize the effects on the vicinity. This test construction took place in conditions such as under small cover in weak and unstable sensitive clay, along alignment with both horizontal and vertical curves and using the flat large rectangular EPB shield TBM with an aspect ratio of 0.6.



写真はシールド全体

Sufficient design and construction plans such as TBM and segments were considered in advance and efforts were made to carefully manage construction, to monitor signs of malfunction and to implement measures to them. As a result of test construction along a section of 100m in length, excavation went well with almost no tunnel deformation and little surface settlement. This report contains an outline of the process of development for the special rectangular shield TBM and test construction results.

最近の水害想定にもとづく東京メトロの浸水対策

東京地下鉄(株) 大塚 努

東京メトロは、首都圏に全9路線、営業キロ195.1km、179駅(うち地上駅21駅)を保有し、1日684万人以上のお客様にご利用いただいている。その多くのお客様の安全を守るためにさまざまな水害対策に取り組んでいる。

安全確保を目的とする浸水対策は、①「地下に水をいれない」という思想にもとづく物理的ハード対策と、②利用者を安全に避難誘導するソフト対策に大別される。本稿では、これまでに実施してきた浸水対策、また、近年の中央防災会議における大規模水害想定や東京都各自治体の水害想定にもとづく最近の浸水対策について紹介する。

Tokyo Metro Anti-Inundation Measures Based on Recent Flood Damage Estimates—

By Tsutomu Otsuka, Tokyo Metro Co., Ltd

Tokyo Metro owns all 9 lines with an operational distance of 195.1km, 179 stations (including 21 above-ground stations) and over 6,840,000 passengers per day in the capital. The company engages various anti-inundation measures in order to secure the safety of these passengers.

Anti-inundation measures with the purpose of ensuring safety can be roughly divided into: 1) Physical hard measures based on ideas to prevent water getting into the underground facilities and 2) Soft measures that guide users to safety. This report contains information on anti-inundation measures implemented up to the present and recent anti-inundation measures based on large-scale flood damage estimated by the Central Disaster Prevention Council and flood damage estimated by each municipality in the Tokyo metropolitan area.



写真は溜池山王駅浸水事例

シールド万感

(株)竹中土木取締役専務執行役員(本協会評議員)

久保田政宏



当協会は、1974年に日本トンネル協会という名称の任意団体として設立され、翌年に社団法人日本トンネル技術協会として発足し、昨年発足40周年を迎えました。

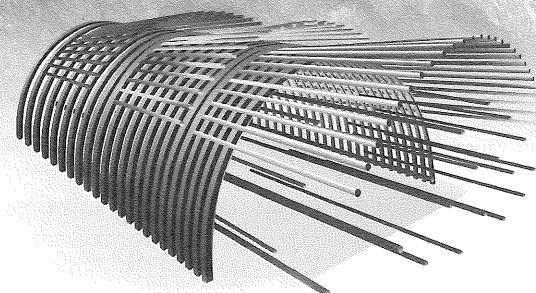
私が社会人になったのは、ちょうど日本トンネル協会が設立された1974年でした。1974年はNATMが日本に紹介され、NATMの導入のきっかけになった年でもありました。一方、シールドにおいては1967年に泥水式、1974年に土圧式が開発され、手掘りの開放型から密閉型への移行が始まった年でした。また、1974年は大相撲界では昨年末急逝した北の湖が横綱になり、野球界では長嶋選手が引退し読売巨人軍の監督に就任するなど、スポーツ界でも新たな時代が始まった年でした。

私は入社してすぐ流域下水道幹線の作業所勤務となりました。不安な気持ちで現場に行きましたが、開発されたばかりの泥水式シールドの坑内は想像していたよりきれいでした。毎日狭い坑内で測量をしたのを思い出します。当時の測量はトランシットとレベルで行われ、基線測量はシールド通過後、地上からボーリングをし、下げ振りで坑内にポイントを落として行っていました。地上での測量やボーリングが交通の支障となったり、ボーリングの鉛直精度が悪いと下げ振りの糸が孔壁に当たって鉛直性が悪くなるなど多くの問題がありました。その後ジャイロやレーザーなどの新しい測量機器が登場して測量も格段に安全で楽になりました。

その後、私は東京都多摩地区での下水道工事に従事しました。当時の東京都区部の下水道普及率は50%程度、多摩地区はまだ20%程度で、私はしばらく多摩地区の下水道工事に従事することになりました。

当時の泥水式シールドは土質の変化に弱く、少し大きな礫が出ると切羽が閉塞したり、排泥管が損傷して何日も掘削が停止したりするトラブルが多くありました。シールドはこれらの課題や多様なニーズに対応した多くの技術が開発され、今や世界に誇れる技術となりました。シールドの技術開発は、急曲線、急勾配、地中接合・分岐、自動化・ロボット化、大断面、非円形断面、長距離、大深度、新しいセグメントなど多岐にわたり、

ユニークな発想でVEを提案

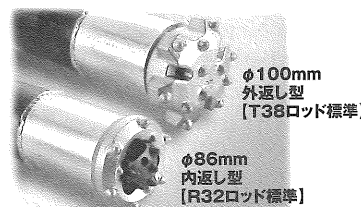
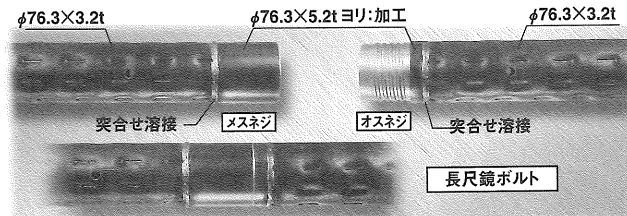


NETIS登録申請中

ストロング

FIXチューブ(S型)

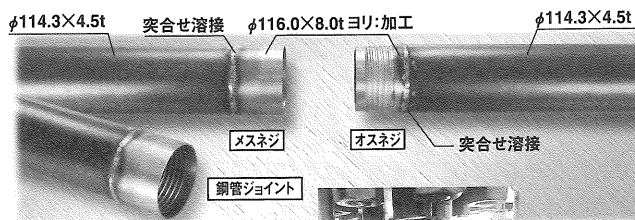
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



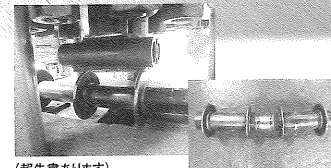
NETIS No.KK-150045-A

AGF-STD工法

- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30%UP!!

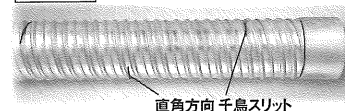


(報告書あります)

接続部の抗折力試験

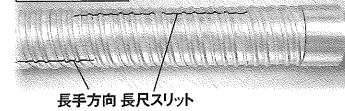
撤去管の選択

標準タイプ



直角方向 千鳥スリット

解体分別タイプ



長手方向 長尺スリット



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングピット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※ウレタン系空洞充填: NTR工法
- ※高速フォアボーリング: SP-IF工法
- ※高速ルートパイル: SPフィックスパイル工法
- ※高速マイクロパイル: SPマイクロパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり



エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

http://www.st-eng.co.jp

あらゆる環境や厳しい条件に対して安全に掘削できるようになりました。シールドは日本の建設現場でもっとも生産性が高い工種と言えます。

現在施工中の東京外郭環状道路は、1974年当時は高架橋として計画されていましたが、今は大深度大断面シールドで施工されています。これも日本のシールド技術の進化があったからだと思います。

シールドは「フナクイムシ」をヒントにイギリスで実用化されました。フナクイムシは食べた木のセルロースを消化しながら穴を掘り、空けた穴の表面に石灰質の膜を張り付けて巣穴を作ります。今後掘削した土砂でセグメントに代わる坑壁を作るというフナクイムシの技術をヒントに新たな施工方法が開発できないかと思っています。シールドの分野ではこれからも新しいアイデアや発想が求められています。

私が建設業界に入った理由は、自分が携わった土木構造物を目の前で見ることが出来るからでした。JR東日本の恵比寿駅の発車時に流れるメロディーは、映画「第三の男」のテーマ曲です。映画の最後の場面に出てくるウィーンの下水道は、車が通れるほど大きな断面のトンネルで、警察が第三の男を追跡する舞台となりました。しかし、私が苦労して作った下水道は、その中を見ることはできません。自分の作った土木構造物を孫に見せることができないのが残念ですが、今の快適な生活ができるのはわれわれ土木技術者の貢献があったからだと思っています。

「コンクリートから人へ」と政府の方針が変わった時期には、土木技術者としての誇りも失いかけていました。しかし、国内各地では地震や局所的な豪雨により多くの災害が発生し、貴重な生命が失われています。脆弱な日本の国土を強靱化するためにも、われわれ土木技術者が必要であることを改めて痛感しました。

土木分野のこれからの仕事は維持管理と言われていますが、中でも大規模更新、大規模修繕がゼネコンの仕事になると思います。構造物を壊して新しい構造物を作る、しかも供用しながら工事をする。このような技術は、今までわれわれが携わってきた新しい構造物を作る工事に比べて何倍も難しいと思います。これからの若い人は、先人たちの技術を学びながら、さらに壊す技術や安全に工事ができる技術など、これまで以上に新しい技術開発を行い、夢を持って仕事に取り組んでほしいと思います。

トンネル工事の昼夜作業は変わらないかもしれませんが、週休2日など労働条件は改善されていくでしょう。現場は機械化やPCa化などのi-Conが推進されており、今より生産性が向上し、現場もさらに安全な作業環境へと変わっていきます。これからも多くの若い人が建設産業に携われるよう、微力ながら取り組んでいきたいと思っています。

施工

多量湧水区間をさまざまな対策で施工

—北海道新幹線(新函館北斗・札幌間) 村山トンネル—

鉄道・運輸機構北海道新幹線建設局北斗鉄道建設所長 永利 将太郎

鉄道・運輸機構北海道新幹線建設局北斗鉄道建設所主任 長川 善彦

岩田地崎・熊谷・不動テトラ・相互特定建設工事共同企業体現場代理人 中田 暁之

岩田地崎・熊谷・不動テトラ・相互特定建設工事共同企業体監理技術者 大畑 雅義

1 はじめに

本トンネルは、2016(平成28)年3月に開業した北海道新幹線の新函館北斗駅からおよそ1km北西に位置し、延長は5,265m(新青森起点149km795m~155km060m)、最大土かぶり約150m、起点方(新青森方)からおおむね全線にわたり20%の上り勾配である。平面線形については、起点方

からおよそ1kmはR=12,000mの緩やかな曲線、残りの約4kmは直線であり、起点方から掘削を行っている(図-1)。

本稿では、本トンネルのこれまでの施工状況について、とくに多量湧水区間での掘削における湧水対策について報告する。

2 地形・地質概要

丘陵の稜線はおおむね北-南方向で、計画ルートと150km100m付近で交差している。起点方坑口が位置する東側斜面は傾斜が比較的急となっており、稜線付近はなだらかで、牧場として利用されている。西側斜面は傾斜が比較的緩やかで、大野川支流が流下するほか、斜面は開析による沢地形を多く有している。終点方坑口付近は緩傾斜の段丘面となっている(図-2)。

当該地域の基盤岩は火山砕屑岩からなる新第三紀中新世黒松内層中部~上部層であり、その上位を砂礫からなる第四紀更新世の文月層が不整合に

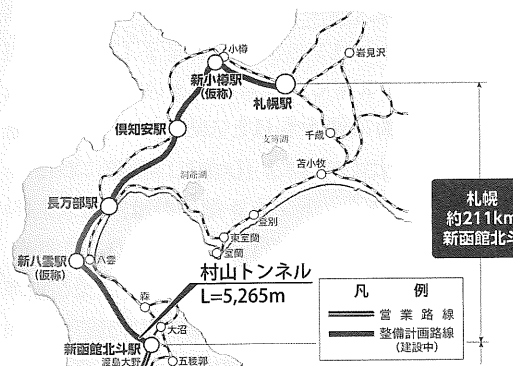


図-1 位置図

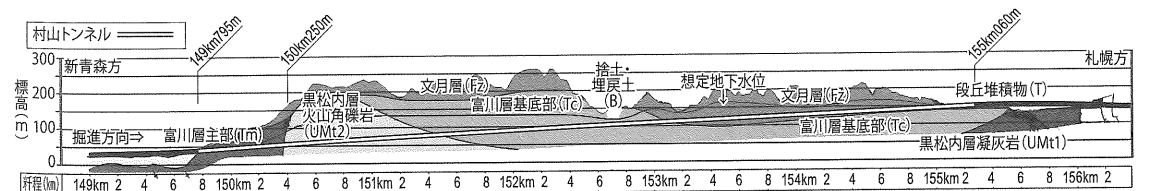


図-2 地質縦断面

表-1 長尺ボーリング施工実績

No.	施工位置	施工延長 (m)	土かぶり (m)	湧水量 (L/min)	湧水圧 (MPa)	主岩種
1	149km957m	105	23	253	—	富川層主部
2	150km020m	46	25	77	0.10	富川層主部
3	150km030m	90	26	172	0.04	富川層主部
4	150km067m	126.3	34	600	0.10	富川層主部
5	150km118m	112	42	400	0.02	富川層主部
6	150km170m	120	49	387	0.10	富川層/黒松内層
7	150km252m	104	50	1,596	0.13	黒松内層
8	150km330m	120	71	1,510	0.04	黒松内層
9	150km420m	120	103	550	0.04	黒松内層
10	150km494m	120	124	225	0.12	黒松内層
11	150km583m	120	151	1,050	0.02	黒松内層
12	150km653m	120	151	1,200	0.02	黒松内層
13	150km748m	120	144	1,473	—	黒松内層
14	150km842m	120	143	1,800	0.16	黒松内層
15	150km932m	120	156	1,680	0.14	黒松内層

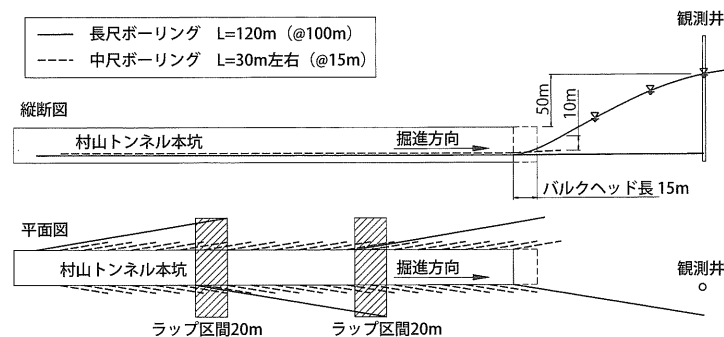


図-7 長尺・中尺ボーリング施工概念図

= 30m)を行うこととした。

中尺ボーリングによる水抜き工は、ドリルジャンボによって30m程度の削孔(φ86)を行うこととしたが、長尺ボーリングと同様に孔壁の崩壊が見られ、30mの削孔に数時間を要することもあり、また、目的の深度に到達する前に削孔が不能になる状況も発生した。

これらの問題を解決するために、鋼管(φ114mm, φ89mm)をケーシングとした中尺ボーリングを実施した。これにより、中尺ボーリングの施工が安定し、切羽前方の水位低下と、水圧管理による切羽の安定性を確保した掘削が可能となった。長尺・中尺ボーリングの施工の概念は図-7のとおりで

あり、特徴および管理手法は次のとおりである。

(1) 中尺ボーリングの特徴

以下に、村山トンネルで施工した中尺ボーリングの特徴(図-8, 写真-1~3)を示す。

- ・ドリルジャンボによる打撃削孔のため、安定してL=30m程度の中尺削孔が可能(L=60mまで試験施工実施)
- ・鋼管が削孔時のケーシングとなるため、未固結の砂礫層においても孔壁崩壊(ジャーミング)を防止でき、削孔深度確保の信頼性が高い
- ・鋼管(φ114mm, φ89mm)を水抜き孔として利用するため、削孔後の孔壁崩壊を防止でき、安定した水位低下と水圧管理が可能
- ・鋼管にL=200mm程度のスリットを設けることで、ストレーナ機能を持たせることが可能
- ・地山にケーシングを残置するため、正確な水圧の計測が可能

- ・鋼管によるケーシングとなるため、施工後の清水ラインへの放流が容易
- ・水圧測定治具の設置が容易であり、転用が可能

(2) 中尺ボーリングの湧水圧による切羽管理手法
中尺ボーリングにおける湧水圧による限界動水勾配を用いた切羽の管理手法を採用した。これは、北陸新幹線飯山トンネル富倉工区で採用された手法であり、詳細を下記に示す。

切羽前方のカバーロックを土塊(幅a×高さa×奥行きL)と見なした場合、土塊にかかる水圧(P_w)と抵抗力(F)の関係については図-9の模式図に示したとおりと考えられ、以下の計算式となる。

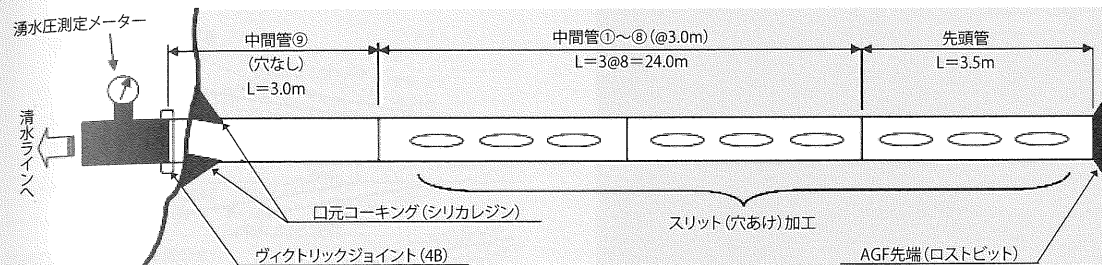


図-8 鋼管を利用した中尺水抜きボーリング概要図



写真-1 中尺ボーリング用鋼管(スリット加工)

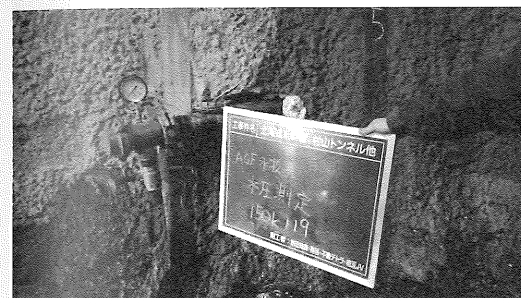


写真-2 水圧測定状況(水圧測定治具)

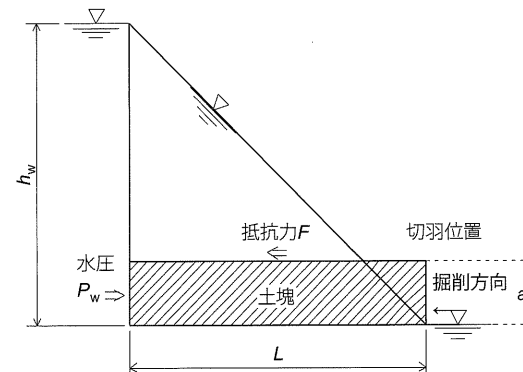


写真-3 ドリルジャンボによる削孔状況

$$P_w = \gamma_w h_w a a$$

$$F = \gamma'(4h_r + 2a) a L \tan\phi + 4a L c$$

安全側を考慮して抵抗力分の土かぶり厚さh_rは



- a : 土塊(トンネル)断面辺長(m)
- L : 土塊長(カバーロック長)(m)
- γ_w : 水の単位体積重量(1.0t/m³)
- h_w : 被圧水頭(m)
- h_r : 抵抗力に寄与する土かぶり厚さ(m)
- γ' : 土の水中単位体積重量(1.0t/m³)
- c : 土塊の粘着力(tf/m²)
- ϕ : 土塊の内部摩擦角(°)

図-9 水圧と土塊の概念図

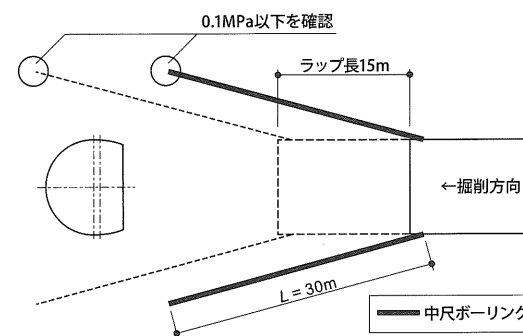


図-10 中尺ボーリングの施工概要平面図

ゼロとし、土塊の自重分のみを考慮することとした。さらに未固結地山を想定し、c=0, φ=30°としてP_w=Fとすると、限界動水勾配(i_c=h_w/L)は約1となるが、安全率1.5を適用し、L/h_w≧1.5(前方地山によるカバーロック長が水頭の1.5倍以上)

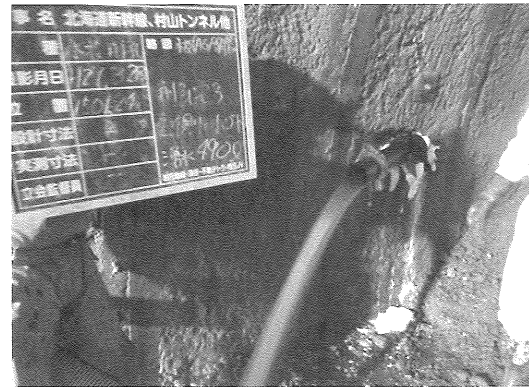


写真-4 水抜き状況(湧水量約490L/min)

上ある状態)を管理基準とした。

中尺ボーリング削孔長は、 $L=30\text{m}$ としている。中尺ボーリングは毎回湧水圧を測定しており、測定圧0.1MPa以下であれば、15m掘削可能と判断(30mの中尺ボーリングで0.1MPa以下を確認した箇所から15m先でカバーロックが15m残っていると判断)し、15mごとに左右で中尺ボーリングを施工し、切羽の安全性を確保しながら掘削を進めた(図-10、写真-4)。

4-1-4 富川層主部-黒松内層上部層境の施工結果

黒松内層の層境は長尺ボーリングおよび中尺ボーリングのスライムにて想定していたが、新青森起点150km249mにおいて、想定よりも早く黒松内層が切羽に出現した(写真-5)。富川層と黒松内層の地層境界部と思われる層の手前に、厚さ1.5~2.0mの礫混じり砂質シルト層が存在し、層境の湧水を遮水していたものと思われる。

切羽では長尺ボーリング、中尺ボーリングのほか、掘削ごとに左右の肩部に探り削孔($L=40\text{m}$)を行っているが、当該箇所では湧水は見られなかった。しかし、右踏前部に出現した黒松内層に探り削孔を行ったところ、4m前方で約0.1t/minの湧水を確認した。切羽の走向傾斜は60~70°の流れ目を呈しており、掘削を継続すると右踏前部に存在する湧水を伴う地層が天端でも出現することが予想されたため、左右にて30mの中尺ボーリングを追加施工することとした。

その結果、左右の湧水量は合計で約1t/min、湧水圧は左右とも0.11MPaであった。

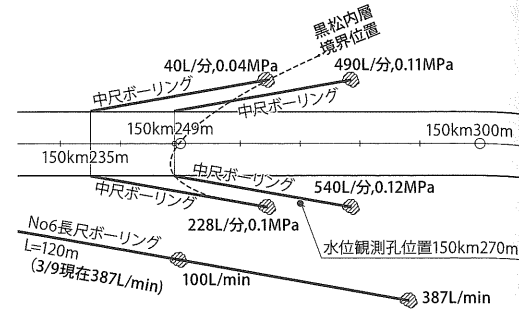


図-11 地質想定平面図

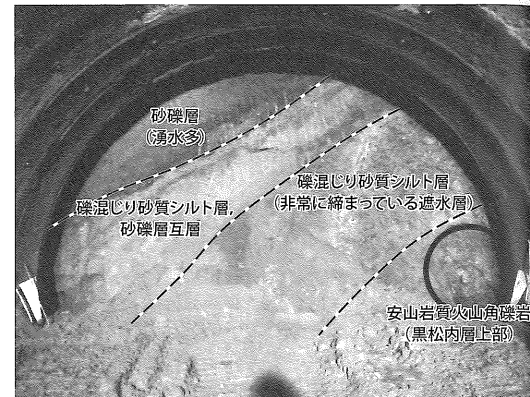


写真-5 黒松内層出現位置の切羽状況(新青森起点150km249m)

富川層主部と黒松内層上部の層境部には予想していたとおり、大量の湧水が存在することが判明したため、以降の掘削に関しては、次の対策を行うこととした。

- ① 下半を層境に可能な限り近づけて(ベンチ長約10m)、下半切羽から中尺ボーリングを施工し、上半の水位を下げる
- ② 上半掘削に先立ち、天端防護のために長尺先受け工を施工する
- ③ 層境部の掘削パターンをI_N(125H)から支保剛性の高い、特L(200H)へ変更する(図-12)

以上の対策を講じ、既設の上半中尺ボーリングの湧水量、湧水圧を再測定し、前項の管理手法に則り、問題なければ掘削を進めることとした。

想定どおり右踏前部で出現した湧水を胚胎する層が切羽全面に出現したものの、大きな変位や天端の崩壊などは、とくに見られなかった。また、切羽状況は富川層主部(砂礫主体)から一変し、写

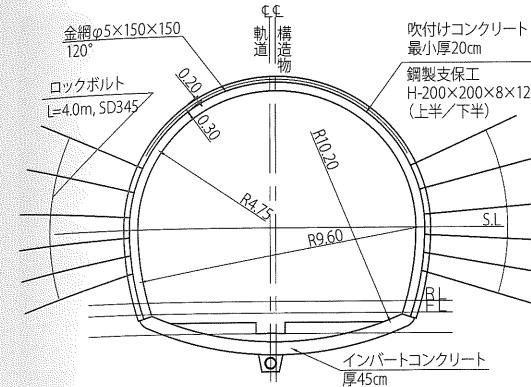


図-12 掘削パターン図(特.)



写真-6 黒松内層上部で出現した巨礫

真-6のような巨礫($\phi 1\text{m}$ 程度)を含み、礫の間を埋める基質部には、黒色の緩い粗砂(凝灰質の砂)が多く見られるようになった。しかし、想定したような不安定な切羽は確認されず、比較的良好な区間が続いた。

その後も100mごとに延長120mの長尺ボーリング(片側)と15mごとに延長30mの中尺ボーリング(左右)を継続して施工し、切羽前方の地質状況の確認および事前の水抜き(水位低下)と、長尺ボーリングでは捉えきれない地下水の確認と湧水圧の測定(切羽の安定性確保)を中尺ボーリングで確認して掘削を進めることとした。

4-2 黒松内層上部(中間部)

これまでの切羽前方の地質状況確認はボーリングのスライムにて行っていた。

通常、切羽前方の探査目的のボーリングでは、削孔速度、採取されるスライムおよび区間湧水量により状況を判断するが、礫にぶつかると削孔速度が変化することや、スライムでは基質部の砂分と礫分の比率はわからず、岩質特定には至っていない状況であった。

ボーリング諸元	コア形状	コア写真
深度	0~28	
岩種区分	凝灰角礫岩	
色調	灰~灰褐色	
工法	PS-WL	
口径	$\phi 133$	
状況	灰色の多孔質な火山礫凝灰岩様の中硬~軟岩が主体で、硬質な安山岩(溶岩)を混在。風化作用を受けた箇所が散在する。マトリクスと見られる安易に砕けやすいくルーズな砂状の区間が広く見られ、特に8~20m間で顕著である。	
深度	28~60	
岩種区分	凝灰角礫岩	
色調	灰~帯A×赤灰色	
工法	PS-WL	
口径	$\phi 101$	
状況	左記同様の岩種からなり、やや帯赤灰色の焼石状の礫の混入が優勢となっている。岩質も中硬~軟岩で打撃で割れやすい区間が30~36m、57~60mに見られる一方、硬質な安山岩を所々に取り込んでいる。	

コア形状区分判定表

記号	模式図	コア形状
I		長さが50cm以上の棒状コア。
II		長さが15~15cmの棒状コア。
III		長さが15~5cmの棒状~片状コア。
IV		長さが5cm以下の棒状~片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。
V		主として角礫のもの。
VI		主として砂状のもの。
VII		主として粘土状のもの。
VIII		コアの採取が出来ないもの。スライムも含む。(記事欄に理由を書く)

図-13 PS-WL工法による採取コア(深度10~40mを抜粋)

そこで、150km330mからの長尺ボーリング以降はコアを採取し、前方の地質状況を確認することとした。しかし、通常のコアボーリングでは

120mの削孔に4～5日程度を要すると考えられるため、切羽の進行に支障する。そこで、切羽の進行に極力支障せずにコアを採取する工法として、本トンネルではパーカッションワイヤラインサンプリング工法(以下「PS-WL工法」という)を採用することとした。

サンプリングされたコア性状を図-13にまとめる。採取したコア性状より、深度0～28m間はコア形状が礫状のものが多く、脆弱であると判断した。よって、切羽前方の先行緩み抑制を目的とした注入式長尺先受け工法および中尺ボーリングの併用を基本方針とし、掘削を進めることとした。注入式長尺先受け工法を施工した結果、前方地山の変位抑制効果が得られると同時に切羽からの湧水を掘削断面外へ排水する効果も得られ、切羽、天端の安定を確保できた。

深度28～60m間は比較的良好な岩質が続くことを想定していたことから、それまでの切羽とボーリングコアの相関を考慮しながら、補助工法の有無を適宜判断していくこととしたが、結果として、補助工法を必要とするような状況には至らなかった。

また、これまでのボーリング結果より、長尺・中尺ボーリングで捉えた湧水地点においては、同様に切羽でも湧水を確認したことが多く、相関度が高いことも把握できた。今後はPS-WL工法による長尺ボーリングのコアと切羽の岩質の相関性を検証するべく、切羽観察、湧水状況、坑内A計測などの結果を総合的に評価し、前方切羽予測にフィードバックしていくこととした。

4-3 黒松内層上部(深層部)

現時点における切羽はこの黒松内層上部の深層部であると考えており、これまでと同様に岩石の間を砂分が埋める状況にあるが、比較的締まっており切羽は安定している。

写真-7は150km938m付近の切羽で、地質は安山岩質火山角礫岩である。ここでの火山角礫岩は切羽の天端～肩部とそれ以下では岩層が異なる。

天端～肩部はφ3cm～20cmの垂角礫が主体であり、これら礫を埋める基質部はよく締まった粗

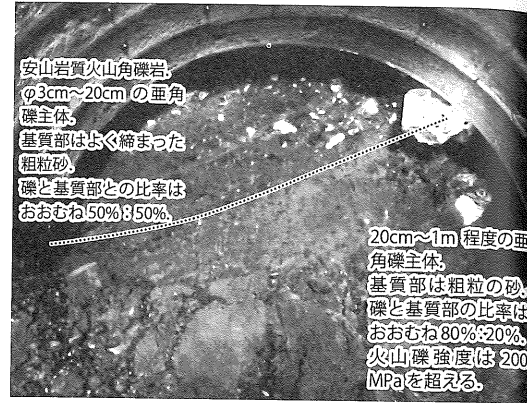


写真-7 切羽状況写真(新青森起点150km938m)

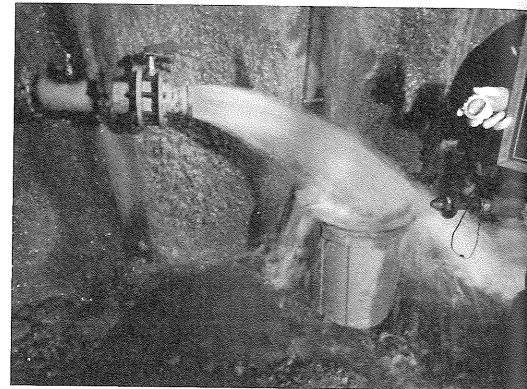


写真-8 水抜き施工状況

粒の砂である。肩部以下は、20cm～1m程度の垂角礫が主体であり、礫間をわずかに粗粒の砂が基質部として埋めている。火山礫は200MPaを超える硬質な岩である。

切羽は比較的安定しているが、中尺ボーリングにて湧水圧を計測し、0.1MPa以下(水頭10m相当)を確認しながら施工を進めている。しかし、水位がトンネル上部に位置することから、ロックボルトの削孔穴から多量の湧水が確認された区間がある。

湧水の多い区間ではロックボルトの定着用モルタルが流出し、所定の強度が得られなかったため、鋼管膨張型ロックボルトを採用した。

鋼管膨張型ロックボルトを採用した多量湧水区間においても天端沈下、水平変位などの計測結果に大きな変化はなく、いずれも20～30mm程度であった。

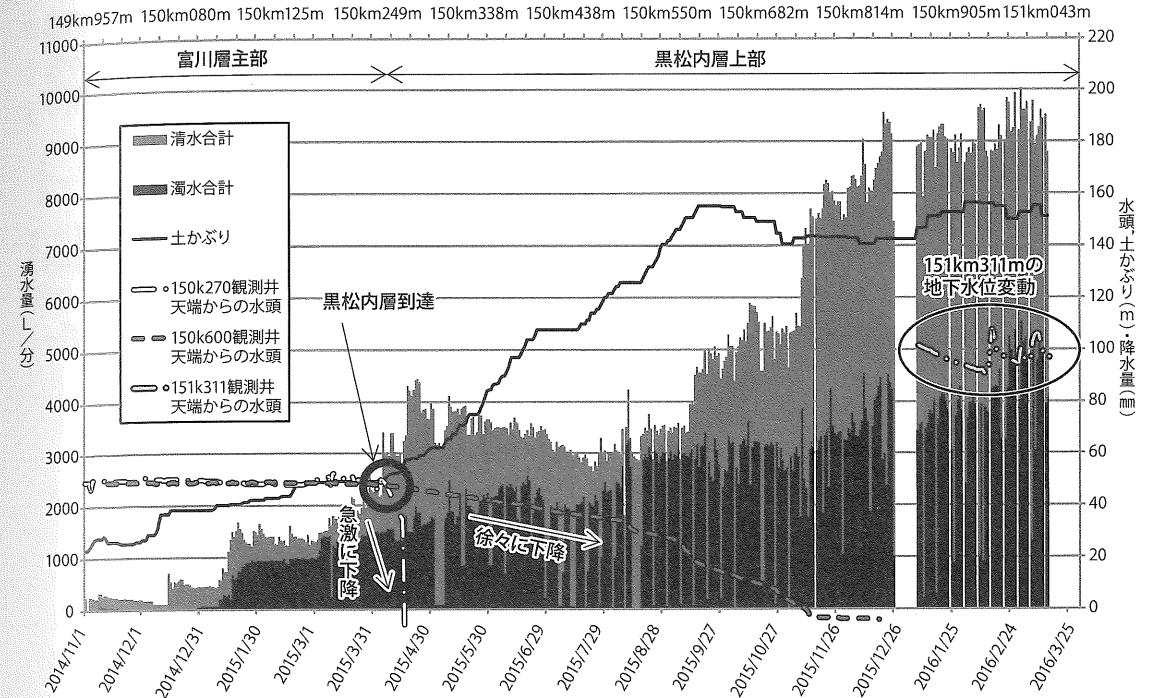


図-14 全湧水量推移図

5 地下水位と湧水対策の効果

これまでに、長尺ボーリングは15回実施しているが、前述したとおり、150km330mでの第8回長尺ボーリングからは、切羽前方の地質調査を兼ねた、PS-WL工法を採用している。

また、4-1-1項で記載した150km270mの水位観測孔以降も切羽前方に水位観測孔を設置し、水位低下を確認しながらトンネルの掘削を進めている。

150km600m付近に設置した水位観測孔は、黒松内層上部の掘削に着手した時点(150km250m付近)から徐々に下降傾向を示し、切羽が水位観測孔設置位置を150m程度過ぎた地点でトンネル天端を下回った。この際も長尺ボーリングでは、水位観測孔で確認された水位相当の水圧は確認できなかった。

現在は151km311m付近に設置している水位観測孔の地下水位を確認しながら掘削を進めている。雪解けの影響で水位が上下しているものの、長

尺・中尺ボーリングの施工に伴い、切羽前方の水位は徐々に下降傾向を示していると考えている。

これまでの傾向より、黒松内層上部においては、相当多量の湧水が存在しているものの、水抜きボーリングの効果(地下水位の低下)は比較的広範囲に出るものと考えられ、現在もトンネル周辺の井戸の水位を確認しながら、トンネル掘削を進めているところである。

6 今後の施工について

坑口から1,600m程度進んだ151km400m付近にて、黒松内層上部と富川層基底部との地質境界を想定している。地質境界部は水みちとなっていたり、富川層基底部堆積前の古い風化を伴って脆弱化していたりする可能性がある。

このような箇所では、地下水を伴った不安定な切羽になる可能性があることから、事前に境界部を精度良く把握しておく必要がある。また、地質境界は、ほとんど水平である可能性が高く、地質境界がいったん現れると長区間連続すると考えて

いる。そのため、長尺および中尺ボーリングを活用し、慎重に掘削を進めていく予定である。

7 おわりに

村山トンネルは2014(平成26)年8月から掘削を開始し、2016(平成28)年3月までに約1,200mの掘削を完了した。トンネル湧水は9t/minを超える量となっており、天端および切羽の安定性確保だけでなく、路盤の泥濘化、濁水処理、放流先

の確保など、二次的な課題も抱えているが、綿密な施工計画や日々の計測管理に気を配り、今後も確実な安全管理のもと、施工を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 高原英彰・依田淳一・川原一則：偏在する高圧帯水層の地山における湧水圧管理を用いたトンネル掘削、トンネル工学報告集、2005.12.

■図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

P. A. ドミニコ・F. W. シュワルツ 共著
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため、水の物理的・科学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。



株式会社 **土木工学社**

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

施工

トンネル覆工の施工性の改善および耐久性向上に関する取組み

—国道45号吉浜釜石道路 荒川・唐丹第1トンネル—

国土交通省東北地方整備局南三陸国道事務所建設監督官 手間本 康一
(株)大林組東北支店吉浜釜石道路JV工事事務所工事長 泉水 大輔
(株)大林組東北支店吉浜釜石道路JV工事事務所主任 赤間 友哉
(株)大林組技術本部技術研究所生産技術研究部主任研究員 桜井 邦昭

1 はじめに

東日本大震災後のリーディングプロジェクトとして、三陸沿岸道路(復興道路、新規区間148km)などの建設が急ピッチで進められている¹⁾。このプロジェクトでは新設する社会インフラを長期間にわたり健全な姿で供用し続けていく方針にもとづき、品質確保および耐久性の向上に関するさまざまな取組みを行っている^{2),3)}。

トンネル覆工はアーチ状構造物であり、供用後に剝離、剝落、コンクリート片の落下などが生じると第三者被害という重大事故に直結する。一方で、覆工の施工は、限られた箇所から、厚さ30~50cmの閉鎖空間内にコンクリートを上方に吹き上げて、広範囲に流動させて締め固める必要がある。さらに、おもに施工サイクルや積算の観点から、材齢18時間程度で脱型し、その後は特別な養生を行わないことが一般的であり、他の構造物に比べ湿潤養生期間が短く、耐久性の向上が求められている。

そこで、吉浜釜石道路工事(以下「本工事」という)では、耐久性の高いトンネル覆工を構築す

る観点から、コンクリート配合、養生方法および施工方法のそれぞれについて事前検討ならびに実施工時にさまざまな検証を行った。具体的には、事前に配合条件や養生条件が品質や耐久性に及ぼす影響について覆工側壁部を模擬した部材を用いた検証実験を行った。実施工では、検証実験により適切と判断された配合および養生方法を採用するとともに、覆工コンクリートの施工方法が出来映えや表層品質に及ぼす影響について検討した。さらに、施工結果を目視調査評価票で評価し、課題を抽出して施工方法を改善することで出来映えの向上を図った。

本稿では、模擬部材を用いた実験および実施工での検証結果などをもとに、トンネル覆工の施工性の改善および耐久性向上に関する各種の取組みについて述べる。

2 覆工で想定される不具合の抽出と対応策

トンネル覆工の施工時および供用後に想定される不具合の概念図を図-1に示す。覆工で想定される不具合には、アーチ天端部の充填不良、温度ひび割れ、端部の欠け、表層品質の低下(剝離、剝落、

砂すじ、色むら、表面気泡、乾燥ひび割れ、緻密性の低下など)および耐久性の低下(塩害や凍害)などが挙げられる。これらの不具合を防止するには、「コンクリート配合」「施工方法」「養生方法」のそれぞれにおいて適切な対応策を講じる必要がある。

そこで、本工事では、これらの不具合を防止・低減するため、表-1に示す対応策を講じることにした。表には、便宜上、特定の不具合に対する対応策を個別に記載しているが、個々の対応策の相乗効果により、結果として高品質で耐久性の高いトンネル覆工が構築できると考えられる。

対応策のうち、コンクリート配合と養生方法は、

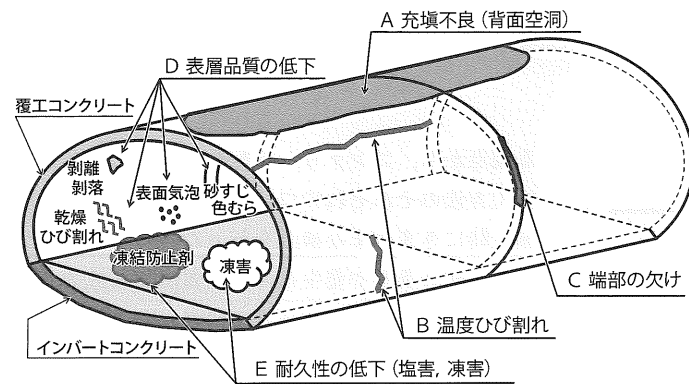


図-1 覆工コンクリートで想定される不具合

表-1 想定される不具合と本工事で採用した対応策

想定される不具合	発生原因	不具合の防止に必要なこと	対応策 ^{*1}
A 充填不良	打込み・締固め箇所が限定される天端部では1か所の吹上げ口から広範囲に流動させる	高い流動性とその長時間保持、充填性の向上、ブリーディング低減 確実に締固めを行える対策と充填の確認	コ：中流動コンクリート 施：型枠バイブレータ 施：天端に圧力センサー設置
B ひび割れ(貫通)	インパートコンクリートや背面地山の拘束	温度応力解析による照査(目標：ひび割れ指数1.4以上)	コ：膨張材(温度応力解析で照査)
C 端部の欠け	早期脱型や次回施工時の型枠の押しつけ	端部が欠損しにくい形状に変更	施：ラウンド型目地
D 表層品質の低下	湿潤養生期間の不足(緻密性の低下、表面ひび割れ、剥離、剥落、表面気泡、砂すじ、色むらなど)	施工時および施工後の保温、湿潤養生の実施	養：湿潤養生期間の延長 養：施工直後の保温養生
E 耐久性の低下	塩害	凍結防止剤による塩化物イオンの浸入	コ：W/C 48.6%以下 コ：高炉セメントB種
	凍害	施工場所の環境温度が低い、スケリング	コ：空気量 5.5 ± 1.5% (凍結融解試験も実施)

*1 コ：コンクリート配合、施：施工方法、養：養生方法、に関する対応策

3-2 実験概要

実験に用いた模擬部材の概要を図-2に示す。実際の覆工厚さを模擬して型枠厚さは40cmとし、標準的な側壁部の施工ではスパン中央の2か所からコンクリートを打込むことを考慮して長さは3.6mとした。

コンクリートは、実際に出荷する生コン工場での4m³製造し、施工現場周辺に設けた実験ヤードまで約30分かけて運搬した。

コンクリートの打込みは、模擬部材の片側端部(以下「打込み箇所」という)からアジテータ車のシュートで行った。コンクリート自体の流動性、充填性を検証する観点から、アジテータの回転速度を「低速」に設定し、ゆっくりと打ち込んだ。コンクリートが反対側端部(以下「流動先端箇所」という)に達した時点で打込みを終了し、流動勾配を測定した後に、打込み上面が水平になるまで50cmピッチで棒状バイブレータによる締固めを行った。その後、打込みおよび流動先端箇所か

ら試料を採取して含有される粗骨材量を調べた。また、打込み実験に合わせて各種コンクリートの時間経過に伴うスランプまたはスランプフローの経時変化も測定した。

模擬部材への打込み・締固め作業が完了したのち、上面を養生マットで覆った。側面は材齢2日目(約40時間)に脱型し、図-3に示すように、湿潤養生の効果を検証するため、保水テープの設置期間を変化させた養生を行った。型枠端部は材齢91日まで保水テープを設置し、水分の逸散を防いだ。

材齢91日後に後述する表層品質試験を行ったあと、コア供試体を採取して耐久性試験を実施した。検証実験は4月下旬に実施し、実験時のコンクリート温度および外気温は20~25°Cであった。

3-3 流動および充填状況の検証

3-3-1 流動性の経時変化

各種コンクリートのスランプおよびスランプフローの経時変化を図-4に示す。中流動コンクリ

表-2 コンクリートの配合

コンクリートの種類	スランプフロー	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)								混和剤	フレッシュコンクリート品質				28日圧縮強度 (N/mm ²)
					B		S		G		スランプ(フロー)	空気量 (%)		U形充填高さ (cm)	ブリーディング率 (%)			
					C	EX	S ₁	S ₂	G ₁	G ₂								
従来の覆工 (24-15-20BB)	SL 15 ± 2.5	4.5 ± 1.5	57.1	53.9	161	282	—	659	355	613	261	WR	SL15.5	4.5	14.2	4.2	34.6	
中流動コンクリート	SF 42.5 ± 7.5	5.5 ± 1.5	45.7	55.2	160	330	20	645	347	567	245	VA	SF45.5	5.2	33.7	1.9	42.1	

C：高炉セメントB種、EX：膨張材、S₁：陸砂、S₂：砕砂、G₁：石灰砕石2005、G₂：砕石2005、WR：AE減水剤、VA：高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)

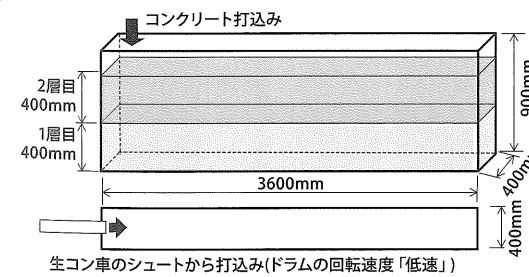
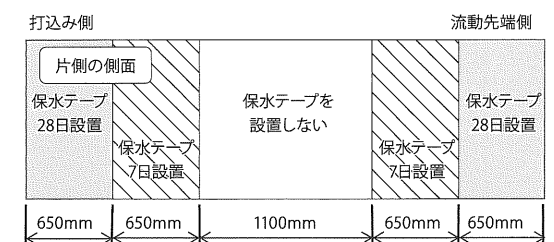


図-2 覆工側壁部を模擬した部材の概要



*反対側の側面は、全面とも保水テープを設置しない

図-3 模擬部材の湿潤養生期間の概要

トは時間経過に伴う品質変化が小さく、所要の流動性を長時間確保できることを確認した。覆工アーチ部における打込み箇所は、一般に既設覆工側に設けた吹き上げ口の1か所であり、コンクリートは先に打ち込んだコンクリートを押し出す、もしくは乗り越えて流動・充填する必要がある。このとき、先に打ち込んだコンクリートの流動性が急激に低下すると、あとから打ち込んだコンクリートの流動を阻害するため、圧送負荷の急激な上昇や充填不良の発生原因になると想定される。今回の試験結果を踏まえると、中流動コンクリートを採用することはアーチ部の充填不良の防止に有効と考えられる。

3-3-2 コンクリートの流動・充填状況

流動勾配の測定結果を図-5に示す。

中流動コンクリートは、コンクリート自体の高い流動性により流動先端箇所まで容易に流動した。流動勾配は1/17であり、充填するまでの棒状パイプの作動時間(打込み上面が水平となるまで締固めた時間)は20秒であった。一方、従来の覆工コンクリートは、打込み箇所付近でコンク

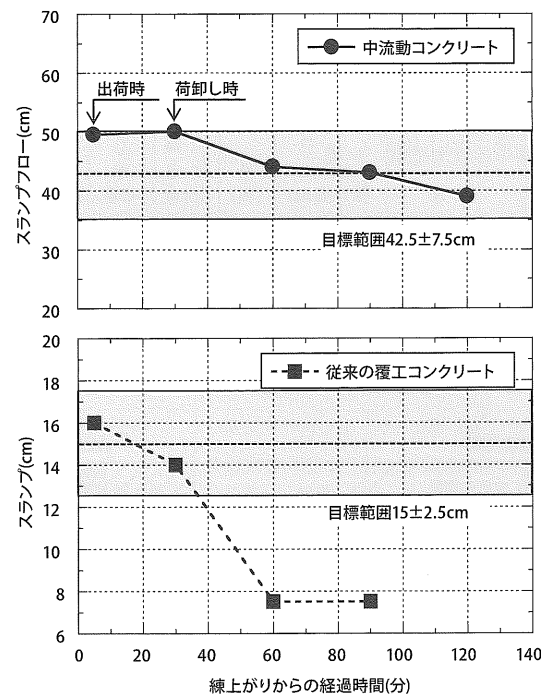


図-4 各コンクリートの流動性の経時変化

リートが堆積し、流動先端箇所までコンクリートが到達しにくい状況であった。その結果、流動勾配は1/4で、棒状パイプの作動時間は280秒となり、中流動コンクリートと比べ充填しにくい結果が得られた。

打込み箇所および流動先端箇所にて採取した試料

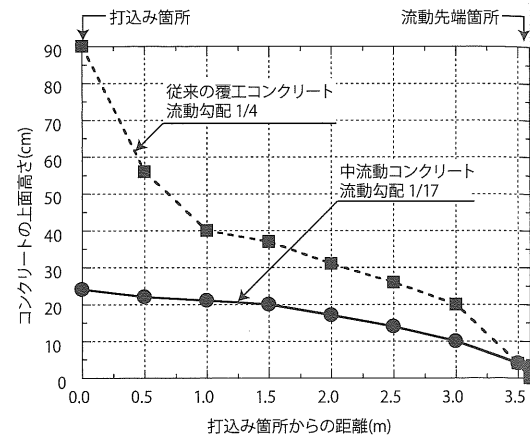
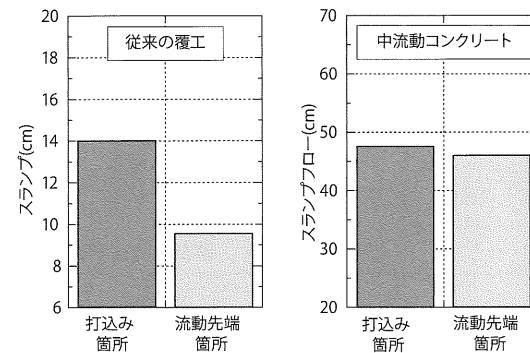
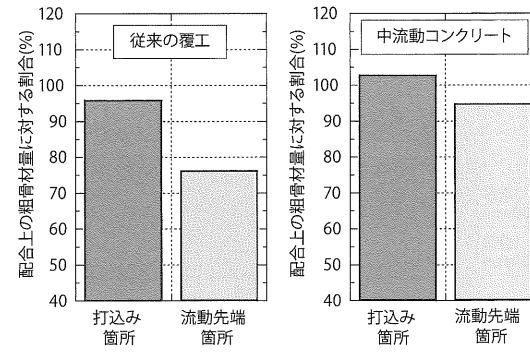


図-5 流動勾配測定結果



(a) コンクリートの流動性



(b) コンクリート中に含まれる粗骨材量
図-6 流動前後における品質変化の測定結果

の試験結果を図-6に示す。試料の採取時期は、打込み箇所が練上がりから約40分後、流動先端箇所が60分後であった。

従来の覆工コンクリートは、流動先端箇所ではコンクリートの流動性が大きく低下し、試料中に含まれる粗骨材量の低下も大きい傾向にあった。中流動コンクリートではそれらの変化が小さく、均質な状態で充填できていることを確認した。中流動コンクリートは高い流動性を長時間保持でき、充填に必要な棒状パイプによる振動時間が少ないため、材料分離を生じることなく均質な状態で充填できていると考えられる。

脱型後の試験体の外観を画像解析による気泡面積率の測定結果と合わせて図-7に示す。

中流動コンクリートは、凍結融解抵抗性を確保する目的で空気量を従来に比べ増加したが、色むらや表面気泡の発生が少なく美観が向上できていた。ブリーディングが少ないこと、棒状パイプ

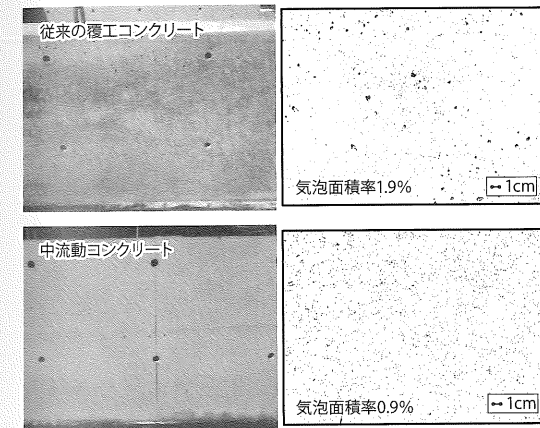


図-7 脱型後の外観と気泡面積率の測定結果

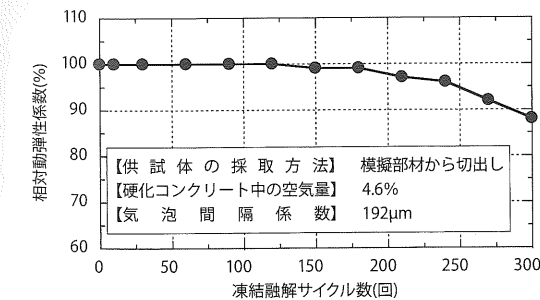


図-8 切り出し試料による凍結融解試験結果

レータによる振動時間が短く、均質な状態で充填できることが、出来映えの向上に寄与しているものと推測される。

3-3-3 凍結融解抵抗性の検証

本工事は、東北地方沿岸部における工事であり、凍害に対して十分な配慮が必要である。そこで、材齢91日以降に、中流動コンクリートを打ち込んだ部材の延長方向の中央位置からコアを切出し、凍結融解試験および硬化コンクリート中の空気量を測定した。試験結果を図-8に示す。

凍結融解サイクル300回後の相対動弾性係数は約90%であり、コンクリート標準示方書設計編に示される「凍害に関するコンクリート構造物の性能を確保するための相対動弾性係数の最小値」(本構造物の場合は70%)を十分に満足する結果であった。

荷卸し時における空気量の目標範囲を5.5 ± 1.5%に設定し、コンクリート中に微細な空気を十分に確保することや、均質な状態で流動および充填できる中流動コンクリートを用いることで、部材レベルにおいて十分な耐凍害性を確保できることを確認した。

3-4 養生方法の検証

3-4-1 表層品質試験

材齢91日後に表層品質試験を行った。試験状況を写真-1に、試験結果を表-3に示す。

従来の覆工コンクリートは、材齢2日目に脱型し、その後に湿潤養生を行わない場合には、テストハンマーによる反発硬度は小さく、トレント法



写真-1 表層品質試験の実施状況

表-3 表層品質試験結果(模擬部材)

コンクリート種類	従来の覆工コンクリート						中流動コンクリート							
	養生方法		2日目に脱型		湿潤養生7日		湿潤養生28日		2日目に脱型		湿潤養生7日		湿潤養生28日	
測定位置	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端
テストハンマーによる反発硬度(-)	34.8	33.3	35.5	34.7	36.2	34.8	38.7	38.7	38.7	38.7	37.9	38.7	38.0	
トレント試験	透気係数 $K_T(\times 10^{-16}m^2)$	2.4	2.3	0.78	0.55	0.13	0.25	0.31	0.22	0.076	0.082	0.055	0.087	
	透気係数の品質グレード*1	劣	劣	普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通	良好	良好	良好	良好
表面吸水試験	表面吸水速度 $P_{600}(mL/m^2/sec)$	0.874	0.885	0.531	0.467	0.338	0.357	0.404	0.483	0.211	0.348	0.160	0.220	
	吸水抵抗性のグレード*2	不良	不良	不良	標準	標準	標準	標準	標準	標準	良好	良好	良好	良好

*1 透気係数の品質グレード <0.01:最良, 0.01~0.1:良好, 0.1~1:普通, 1~10:劣, 10<:極劣

*2 吸水抵抗性のグレード <0.25:良, 0.25~0.5:標準, 0.5<:不良

表-4 模擬部材から採取したコア供試体による耐久性試験結果

コンクリート種類	従来の覆工コンクリート						中流動コンクリート							
	養生方法		2日目に脱型		湿潤養生7日		湿潤養生28日		2日目に脱型		湿潤養生7日		湿潤養生28日	
測定位置	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端
中性化促進試験*1	中性化深さ(mm)	14.1	16.6	13.2	14.7	12.6	13.7	10.3	10.9	10.3	10.2	9.7	9.0	
	中性化速度係数(mm/√週)	4.2	4.9	3.9	4.4	3.7	4.1	3.0	3.2	3.0	3.0	2.9	2.9	
実環境における中性化速度係数の推定値*2(mm/√年)		2.3	2.7	2.2	2.5	2.1	2.3	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	
使用したコンクリートの中性化速度係数の設計値(mm/√年)*3		3.8						1.8						
塩分浸漬試験*4	塩分浸透深さ(mm)	16.2	16.5	14.1	13.9	14.2	13.7	14.3	14.2	13.4	13.7	13.3	13.6	

*1 促進条件: CO₂濃度5%, 湿度60%, 促進期間3か月。

*2 促進試験結果を文献(7)に準じて換算。

*3 使用した配合条件(表-2)を用いて, 2012年制定コンクリート標準示方書[設計編]に準じて算出。

*4 促進条件: 塩分濃度10%水溶液に3か月間浸漬。

による透気係数および表面吸水試験による表面吸水速度も、「劣」ないし「不良」に区分される結果であった^{4)~6)}。保水テープを設置して湿潤養生期間を7日および28日に延長することで、反発硬度は5%程度増加し、透気係数や表面吸水速度も「普通」「標準」に区分される範囲に改善できる結果が得られた。

中流動コンクリートを用いた場合、反発硬度は測定位置や養生方法による差異が小さいという結果が得られた。透気係数や表面吸水速度は、保水テープを設置しない場合でも、「普通」「標準」に区分される結果が得られ、保水テープを7日およ

び28日間設置することで「良好」に区分される範囲にまで改善できる結果となった。

3-4-2 コアによる耐久性試験

表層品質試験終了後に、模擬試験体からコアを採取して中性化促進試験および塩分浸漬試験を行った。結果を表-4に示す。

(1) 中性化に対する抵抗性

中性化速度係数は、従来の覆工が2.5(mm/√年)前後、中流動コンクリートが約1.7(mm/√年)であった。いずれも湿潤養生期間の延長に伴い速度係数は小さくなる傾向にあるが、改善の程度は従来の覆工コンクリートの方が顕著であった。

表-5 躯体表面から採取したコンクリート試料の細孔の測定結果

コンクリート種類	従来の覆工コンクリート			中流動コンクリート			
	養生方法	2日目に脱型	湿潤養生7日間	湿潤養生28日間	2日目に脱型	湿潤養生7日間	湿潤養生28日間
細孔容積(mg/L)	細孔径0.01~0.1μm	0.028	0.027	0.023	0.024	0.023	0.021
	細孔径0.01μm以下	0.024	0.030	0.031	0.028	0.030	0.030
平均細孔径(μm)		0.016	0.015	0.013	0.013	0.012	0.012

(2) 塩分浸透に対する抵抗性

塩分浸透深さは、従来の覆工コンクリートが14~16mmで、湿潤養生期間の延長に伴い小さくなった。中流動コンクリートは、14mm前後であり、湿潤養生期間を7日以上に延長しても差異は小さい結果であった。

(3) 表層コンクリートの細孔径分布

躯体の表面1cm部分の試料について細孔径を測定した。測定結果を表-5に示す。

コンクリートの種類によらず、湿潤養生期間が長くなるほど、0.01~0.1μmの細孔容積が減少して0.01μm以下の細孔が増加するとともに、平均細孔径が小さくなった。湿潤養生を延長することで水和反応が継続され、水和組織が緻密化したためと考えられる。

これら一連の試験結果を踏まえ、施工の基本的な事項であるが、コンクリート材料が持つポテンシャルを最大限に引出し、耐久性の高い構造物を構築するには湿潤養生期間を長くすることが重要であるといえる。中流動コンクリートに関しては、各種試験結果から、湿潤養生期間7日と28日では差が小さいこと、検証実験は屋外で暴露養生しておりトンネル坑内と比べて乾燥しやすい条件であったことを踏まえ、実施工では材齢7日間の湿潤養生を行うことにした。

4 実施工における検証

4-1 採用した配合および養生方法

前章で示した模擬部材による検証実験の結果を踏まえ、本工事で施工する3本のトンネルのうち、先行する2本のトンネル(荒川トンネル、唐丹第1トンネル)では全線で中流動コンクリートを採



写真-2 実施工における湿潤養生の実施状況

用した。養生方法として、材齢1日まではセントルに取り付けたパルーンにて保温養生を行うとともに、脱型後は材齢7日まで超音波加湿養生システム^{8),9)}による湿潤養生を実施することにした(写真-2)。なお、比較のため一部の区間で養生期間を28日まで延長させた(材齢8日から28日まで保水テープを設置)。

4-2 施工方法の概要

本工事におけるコンクリートの施工方法の概要を図-9に示す。側壁部の打込みは、スパン中央付近の左右それぞれ2か所から行った。1層の打込み高さは50cmとし、自由落下高さが1.5m以下となるように、打込み口を高さ方向に3段設置し、コンクリートの打上がり面が打込み口の下に達した時点で上方の打込み口に移した。

コンクリートの締固めには型枠バイブレータを使用した。中流動コンクリートの特性を生かし、打込み中には締固めを行わず、コンクリート自体の流動が停止した後に型枠バイブレータを作動させた。確実な締固めを行う観点から、SLより上の側壁および肩部の締固めには、打上がり高さ

に応じて型枠パイプレータが上方に移動できるレール移動式型枠パイプレータ¹⁰⁾を使用した(左右それぞれ7列)。

天端部の各所には、固定式型枠パイプレータを28台(4台×7列)配置した。吹上げ口よりコンクリートを打込んだあと、側壁部と同様に、コンクリート自体の流動が停止したあとに、既設側、妻側の順で型枠パイプレータを30秒間作動させた。

天端部にコンクリートが確実に充填していることを施工段階で確認するため、天端3か所(既設側、スパン中央、妻側)に圧力計を設置し、型枠に作用する圧力が覆工厚さ以上であることを確認するシステムを導入した^{11),12)}。

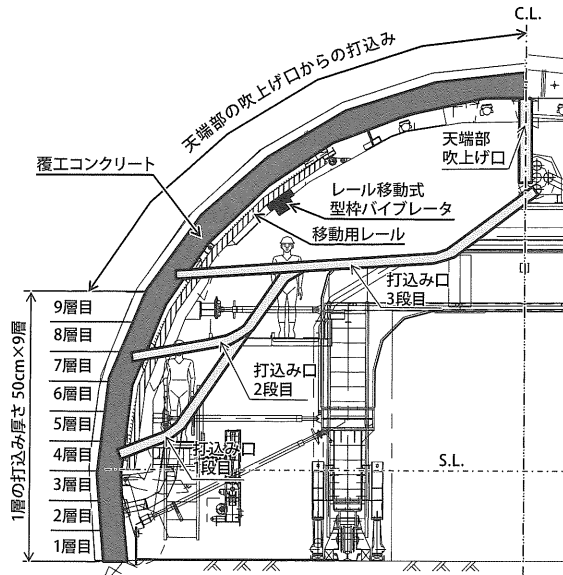


図-9 本工事でのコンクリートの施工方法(打込み・締固め)の概要図(左:断面, 右:平面)

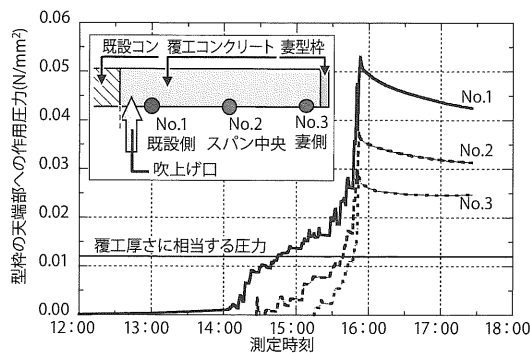


図-10 天端部での圧力計による充填確認

測定結果の一例を図-10に示す。

いずれの測定点においても、覆工厚さに対して2倍程度以上の圧力が型枠に作用しており、天端部においてもコンクリートが確実に充填していることを確認した。

本工事では端部の欠けを防ぐとともに、隅々まで確実に充填できるように、ラウンド型の目地を採用した。

仕上がり状況を、標準的な三角形目地を用いた場合と合わせて写真-3に示す。

三角形目地の場合とは異なり、端部の欠けを防止できるとともに、美観に優れた仕上がりとなっていることがわかる。ブリーディングが小さく材料分離の生じにくい中流動コンクリートを用いると

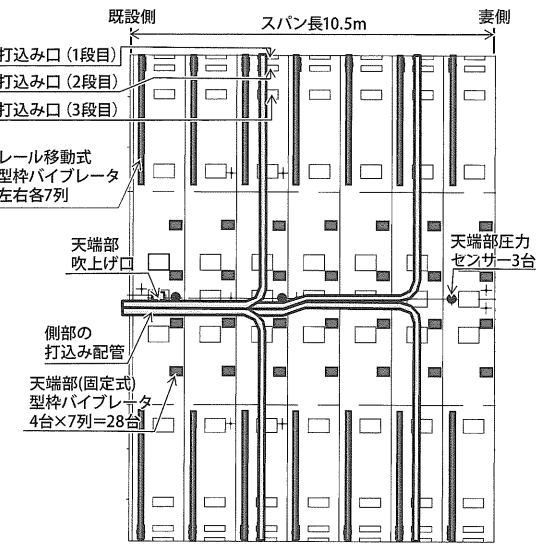


写真-3 ラウンド型目地使用時の端部の仕上がり

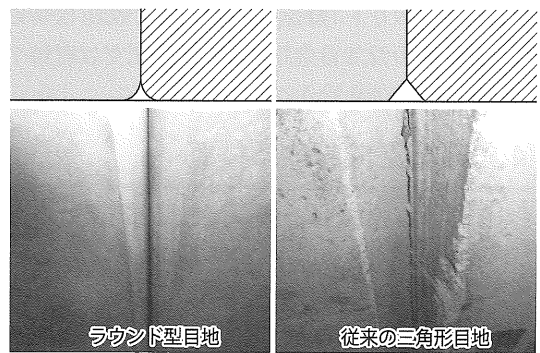


写真-3 ラウンド型目地使用時の端部の仕上がり

ともに、目地形状を鋭角な隅角部のないラウンド型にすることで、コンクリートが均質な状態で充填できるためと考えられる。

4-3 表層品質の検証結果

実施工に採用した配合および養生方法の妥当性を検証するため、材齢91日以降に表層品質試験を行った。試験は4-1節で記述した湿潤養生期間7日間もしくは28日間の各1スパンとし、側壁部と天端部の打込み口、既設覆工側および妻側で行った。検証結果を表-6に示す。

模擬部材による検証実験の結果と同様に、反発硬度、透気係数および表面吸水速度は測定位置や養生期間によらずほぼ同様の値が得られた。透気係数および表面吸水速度とも「良好」と判定される範囲の値であった。中流動コンクリートを用い、かつ7日間の湿潤養生を行うことで高品質なトンネル覆工が構築できることを示す結果と考えられる。

4-4 覆工コンクリート目視調査評価票による評価と施工方法の改善

三陸沿岸道路の一連の建設工事では、高品質なコンクリート構造物を構築する観点から、コンクリートの施工後に「コンクリート目視調査評価票」を用いて、剝離、剝落、表面気泡、砂すじ、

色むら、打重ね線、目地不良、窓枠段差などの出来映えに関する目視調査を実施し、調査結果を数値化するとともに、その結果を踏まえて施工方法を改善する取組みを行っている。

本工事にて、図-9に示した施工方法で覆工を構築したところ、①SL下ハンチ部の表面気泡、②肩部から側壁部にかけての色むら、③検査窓枠における砂すじの発生が認められた。

そこで、①SL下に打込み口を増設して吹上げ方式での打込みを採用することによる巻込み空気量の低減、②肩部打込み口の増設による流動距離の低減、③検査窓枠への吸水性シール材の設置による砂すじの低減対策、を講じた(図-11)。

これら施工方法を改善した結果を写真-4に示す。

SL下では低所からコンクリートを打込み、巻込み空気を少なくすることでハンチ部の表面気泡が低減されること、コンクリートの流動距離を低減することで肩部における色むらの発生を低減できること、検査窓枠の隙間に吸水性のシール材を設置することにより、ブリーディング水を吸水し砂すじの発生を低減できることを確認した。また、図-12に示すように、目視調査票の評価点も向上し、高品質なトンネル覆工が構築できていることが裏付けられた。

表-6 表層品質試験結果(実構造物)

養生方法	中流動コンクリート												
	湿潤養生7日*1						湿潤養生28日*2						
	側壁部			天端部			側壁部			天端部			
測定位置	(スパン中央) 打込み箇所	既設側	妻側	(既設側) 吹上げ箇所	スパン中央	妻側	(スパン中央) 打込み箇所	既設側	妻側	(既設側) 吹上げ箇所	スパン中央	妻側	
テストハンマーによる反発硬度(-)	36.5	37.4	36.2	37.0	38.0	37.1	36.2	36.0	36.0	35.6	37.8	37.5	
トレント試験	透気係数 $K_T (\times 10^{-16} m^2)$	0.052	0.087	0.080	0.059	0.037	0.085	0.098	0.051	0.095	0.094	0.086	0.087
	透気係数の品質グレード*3	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
表面吸水試験	表面吸水速度 $P_{600} (mL/m^2/sec)$	0.081	0.085	0.080	-	-	-	0.212	0.199	0.113	-	-	-
	吸水抵抗性のグレード*4	良	良	良	-	-	-	良	良	良	-	-	-

*1 施工後～材齢1日：セントラルバルーン⇒材齢2～7日：超音波加湿養生
 *2 施工後～材齢1日：セントラルバルーン⇒材齢2～7日：超音波加湿養生⇒材齢8～28日：保水テープ設置
 *3 透気係数の品質グレード < 0.01：最良, 0.01～0.1：良好, 0.1～1：普通, 1～10：劣, 10<：極劣
 *4 吸水抵抗性のグレード < 0.25：良, 0.25～0.5：標準, 0.5<：不良

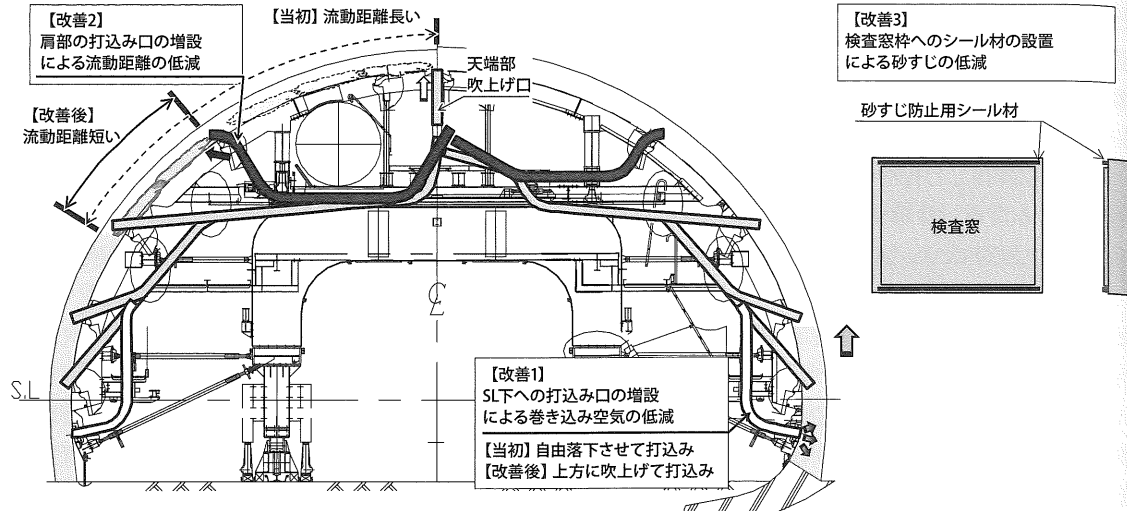


図-11 改善した施工方法の概要

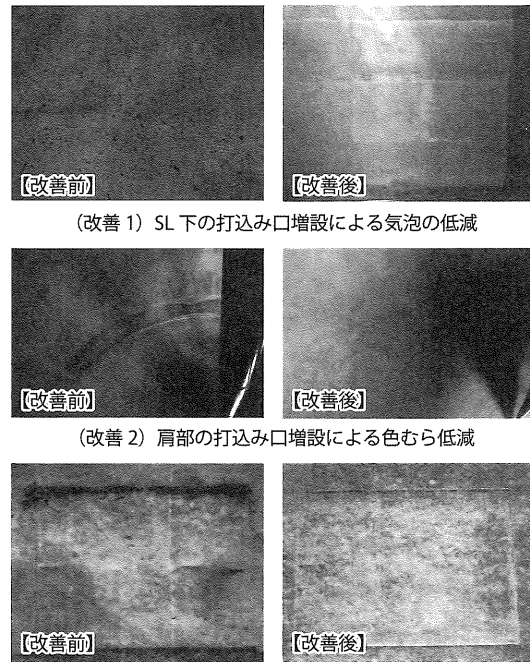


写真-4 施工方法の改善による出来映えの向上

5 ま と め

高品質なトンネル覆工を構築することを目的として、適切なコンクリート配合および養生方法を選定するため模擬部材を用いた検証実験を行い、結果を実施工に反映した。また、実施工時にはコ

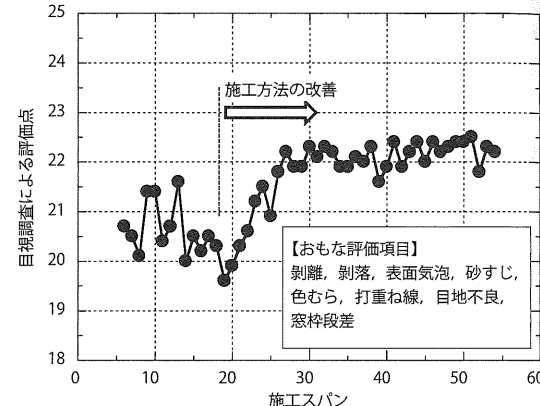


図-12 目視調査による評価値の推移

ンクリート目視調査評価票を用いて構造物の出来映えを評価し、さらなる向上を目的として施工方法の一部を改善した。

本稿の範囲で得られた知見を以下に示す。

- ① 中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートに比べ、高い流動性を長時間保持できる。また、流動先端箇所でも品質変化は少なく均質な状態で充填できる。
- ② 今回の模擬部材実験および実施工での検討結果によれば、脱型後の湿潤養生期間を7日間以上とすることで、コンクリートの表層品質が改善され、耐久性の高い高品質なトンネル覆工が構築できる。

- ③ コンクリート目視調査評価票を用いて構造物の出来映えを評価し、課題を抽出して、打込み口の増設など施工方法を改善することで、出来映えをさらに向上することができる。

参 考 文 献

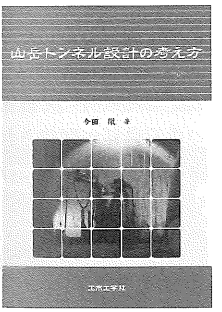
- 1) 国土交通省東北地方整備局道路部：復興道路・復興支援道路, <http://www.thr.mlit.go.jp/road/fukkou>.
- 2) 佐藤和徳：復興道路・復興支援道路に関する取り組み, コンクリート工学, Vol.53, No.1, pp.15-20, 2015.1.
- 3) 佐藤和徳：コンクリート表層品質評価方法を試行, 復興道路等の品質確保に関する取り組み状況, コンクリートテクノ, Vol.33, No.5, pp.15-20, 2014.5.
- 4) 例えば, 日本コンクリート工学会：施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書, pp.90-93, 2009.7.
- 5) 林和彦・細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013.
- 6) 林和彦・細田暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発, コンクリート工学年次

- 論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011.
- 7) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, p.87, 1991.7.
- 8) 平川泰之・松野徹・白旗秀紀・永久和正：超音波加湿養生器を用いた覆工コンクリート養生システムの開発・実用化, 土木学会第64回年次学術講演会概要集, VI-275, pp.549-550, 2009.9.
- 9) 平川泰之・永久和正：トンネル覆工・最近のひび割れ防止工法, 超音波加湿養生システムと膨張材の効果検証, セメント・コンクリート, No.769, pp.34-40, 2011.3.
- 10) 齋藤佑貴ほか：レール移動式型枠パイププレートによる中流動コンクリートの合理的な締固め方法の開発, 土木学会第68回年次学術講演会概要集, VI-420, pp.839-840, 2013.9.
- 11) 村崎慎一・森俊介・中間祥二・桜井邦昭：トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦, 北海道横断自動車道 久留喜トンネル, トンネルと地下, Vol.41, No.12, pp.7-16, 2010.12.
- 12) 諏訪園和彦・松野徹・泉水大輔・桜井邦昭：増粘剤系中流動コンクリートによるトンネル覆工の施工, 南九州西回り自動車道 津奈木トンネル(仮称), コンクリート工学, Vol.50, No.4, pp.366-371, 2012.4.

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著


B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円 千350円



山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必読書である。

主要目次

山岳トンネル技術の要素と変遷/トンネル掘削による周辺地山の挙動/岩石の特性/トンネルと地質/トンネルの線形/断面の設計/支保構造物/吹付けコンクリート/ロックボルト/鋼アーチ支保工/覆工/切羽の安定/掘削工法・掘削方式の選定/併設トンネルの設計/特殊地山/坑口の設計/環境対策



株式
会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

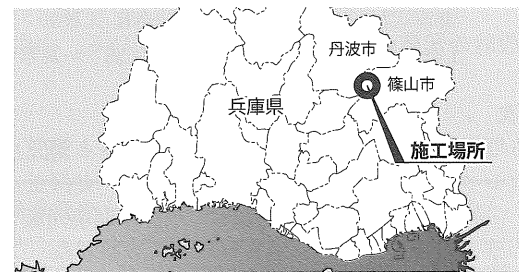


「味覚と化石の宿るまち」篠山市より

西 墙 宏 文

篠山市は兵庫県の中東部に位置し、四方を山に囲まれた自然豊かなところでありながら近郊都市への交通の便は良く、大阪へはJR福知山線篠山口駅より約1時間という立地である。また盆地地形により夏と冬の寒暖の差が激しいことから気候を生かし黒枝豆、黒豆、まつたけ、粟、米、日本酒などの特産物が多いという特徴を持っている。その中でも黒枝豆というあまりなじみがないと思われるが、ここ篠山では毎年10月限定の非常に貴重な秋の味覚である。その正体はお正月に食べる黒豆であるのだが、豆のサヤが緑色の時期に食べるのが黒枝豆であり、枝豆として収穫せずにそのままサヤ茶色に枯れるまで置いておくと黒豆になるようである。黒枝豆は粒が大きくやや黒ずんでいるのが特徴で、塩茹でにすると本当においしい。普通の枝豆よりも味が濃く、食べごたえがあるように感じた。黒枝豆の解禁時期になると畑のすぐ横に、にわかに販売小屋ができ、道端には県外ナンバーの車が連なるような状態になる人気ぶり。秋に近くまで訪れる機会があれば、ぜひ一度食していただきたい。

現在施工中である川代1号トンネル(L=893m)は、篠山市と丹波市とを結ぶ主要地方道である篠山山南線(道路愛称は川代恐竜街道)のバイパス工事のうちのひとつであり、開通するとトンネル3本、橋梁2本の全長1,720mの道路となる。現況道路は篠山川沿いの急峻な地形に沿っており、幅員狭小で線形も悪く、また過去幾度も山腹斜面崩壊による全面通行止めが発生している。安定した道路ネットワークと交通安全の確保、ならびに道路防災対策として地域からは早期開通が望まれている。



位置図



篠山山南線「川代恐竜街道」

トンネルの地質は大きく2つに分かれており、起点側坑口より約300mが約1億1,000万年前、中生代白亜紀に形成された篠山層群下部層、残りが基盤岩として中生代ジュラ紀の超丹波帯味間層で構成されている。今から約10年前の2006年8月、篠山市の西に隣接する丹波市山南町の篠山川河川敷(篠山川に沿って位置する当現場とはすぐ近く)にて篠山層群下部層より国内最大級の恐竜の化石「丹波竜」が発見された。篠山層群下部層は篠山市と丹波市の南北約6km、東西約18kmにわたって分布し、この地層からは羽毛恐竜や原始的な哺乳類、カエル、トカゲなどの貴重な化石も多く発見されている。

2015(平成27)年3月よりNATM発破掘削にて掘進を開始した。掘削当初より恐竜の化石発見が期待されたが、ずりを調査した専門家によると大きな発見には至っていないとのことである。私も専門家に教えていただいた真っ黒な泥質岩をいくつも割ってはみたが、よくわからなかった。篠山層群の掘削の間、切羽を見るたびに恐竜が生きていた時代を感じつつ、もし恐竜の化石が切羽に現れたらどうしようかと心配したことは、なかなか面白い経験だったと思う。

2016(平成28)年4月末現在、掘進は貫通を目前に控え、また覆工は480mと工事は最盛期を迎えている。地域の方々の期待に応えられるように早期に無事故無災害で工事を完成させ、食べ損ねた篠山の味覚を所員みんなで堪能したいと考えている。

(前田・川嶋・淡路土建JV川代トンネル作業所長)

施工

掘進管理の難しい複合地盤で大断面シールドを施工

— 広深港高速鉄道 XRL825トンネル —

五洋建設(株)香港事業所 XRL825工事所長 山口 英
 五洋建設(株)香港事業所 XRL825工事所長代理 坂本 式隆

1 はじめに

広深港高速鉄道は、中華人民共和国広東省の広州市から深圳市を經由して香港特別行政区の西九龍地区に至る全長142kmの高速鉄道建設計画で、うち26kmが香港区間となる(図-1)。また、北京市と広州市を結ぶ高速鉄道と直接連絡し、香港から上海市までを8時間、北京市までを10時間で運行予定である。香港区間は全線トンネル区間となり、施工方法はシールド工法と山岳トンネル工法からなる。本工事(XRL825)は、シールド工法による施工となる(図-2)。

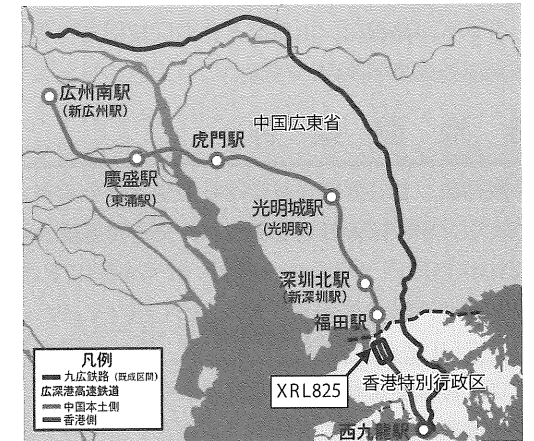


図-1 広深港高速鉄道概要図

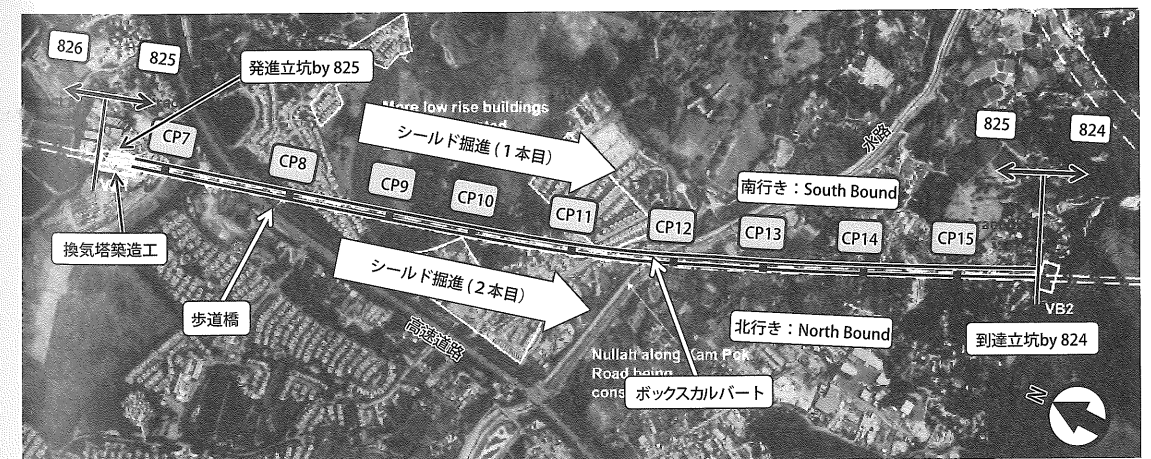


図-2 トンネル路線平面図

本稿では、岩盤層と土砂層から構成される複合地盤でのシールド掘進において、硬質岩盤によるカッタ部材の損傷とその交換、またその損傷を低減し、かつ上部の土砂層の緩みを抑制する掘進管理など、施工に伴い発生した問題点とその対応経緯について報告する。

2 トンネル概要

トンネルは内径8.15mの延長約2,350mで、上下線2本(南行き: South Bound, 以下「SB」, 北行: North Bound, 以下「NB」)を築造する。シールドは当工区の換気塔築造用立坑から発進し、隣接工区(XRL 824)の立坑に到達する。また、2本のトンネル間を結ぶ9か所の接続トンネル(避難用緊急通路)を築造する。

トンネル路線は、山間部と住宅区域に大別され、土かぶりは20~71mである。

3 地盤条件

表-1に、TUFF(II)~(V)の分類定義を示す。

本トンネル路線の地盤条件は、全体路線延長の32%がTUFF(V/IV)の土砂層、17%がTUFF(IIまたはII/III)の岩盤層、25%がTUFF(V/IV)とTUFF(IIまたはII/III)の複合層、22%が巨礫および玉石の混在層、残り4%がシールド発進部付近の沖積世砂質シルトである。また、TUFF(V/IV)層の透水係数は 10^{-4} ~ 10^{-6} cm/sec.である。

以下に、区間ごとの地盤条件を示す。

- ① 発進立坑~100m区間: 沖積世砂質シルト

表-1 TUFF分類定義

TUFF	分類定義
TUFF (II)	新鮮で亀裂、節理はよく密着しており、風化の跡はほとんど見られない。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
TUFF (III)	風化作用を受けているが岩質は比較的堅硬である。節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマー打撃によって割れ目に沿って岩塊が剝脱。ハンマー打音は少し濁った音を出す。
TUFF (IV)	手で岩片を小片に壊すことができる。ハンマー打音は濁った音を出す。新鮮な岩盤に比べ変色しているが、簡単にスレーキングしない。
TUFF (V)	手で簡単に岩片を細かい小片に壊すことができる。新鮮な岩盤に比べ変色しており、簡単にスレーキングする。

- ② 100~440m区間: TUFF(V/IV)
- ③ 440~510m区間: TUFF(II)とTUFF(V/IV)の複合地盤
- ④ 510~720m区間: TUFF(II)(岩盤層。一軸圧縮強度は平均150MPa, 最大200MPa。無加圧で掘進可能な層)
- ⑤ 720~1,180m区間: TUFF(II)とTUFF(V/IV)の複合地盤
- ⑥ 1,180~1,580m区間: TUFF(V/IV)
- ⑦ 1,580~2,100m区間: TUFF(V/IV)と巨礫および玉石の混在層
- ⑧ 2,100~2,160m区間: TUFF(II)とTUFF(V/IV)の複合地盤
- ⑨ 2,160~2,350m(到達立坑)区間: TUFF(II)(岩盤層。一軸圧縮強度は平均120MPa, 最大200MPa。無加圧で掘進可能な層。トンネル到達部の土かぶりは71m)

4 泥土圧シールド工

4-1 シールド

シールドは泥土圧式で、外径9,180mm、機長9,660mm、カッタヘッド開口率は32%である。掘削面は土砂層と岩盤層からなるため、土砂切削用のティースピットと岩盤切削用のディスクカッタを装備した。また圧気下でのカッタ部材の交換を考慮して、マンロックおよびマテリアルロックを装備した(図-3, 表-2)。

4-2 土圧管理

日本国内で使用される多くの泥土圧シールドはカッタヘッドがスポークタイプで設計されている。これはチャンバ内で塑性流動化された掘削土圧力(泥土圧)を前面土水圧に対して有効に作用させるべく、カッタヘッドの開口面積を可能な限り大きく確保するためである。当該地盤は岩盤層を有するため、ディスクカッタを搭載した面板タイプを採用する必要があった。

スポークタイプの泥土圧シールドの場合、チャンバ隔壁部の土圧計が示す値は、前面土水圧に近似するものである。しかし、面板タイプの泥土圧シールドの場合、前面土水圧を「カッタヘッド面

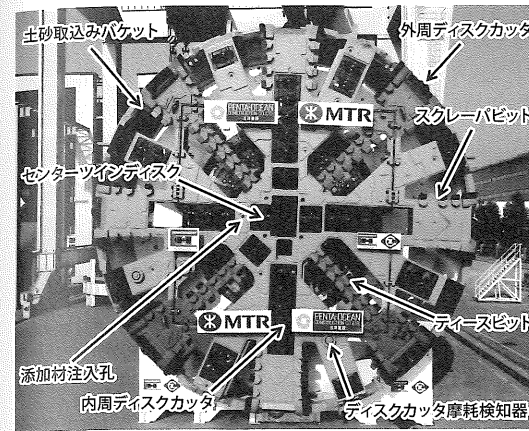


図-3 泥土圧シールド概要図

表-2 シールド仕様

項目	数量	仕様
シールド外径	—	φ9,180mm
シールド機長	—	9,660mm
ツインドディスクカッタ	6	17 in センター部
ディスクカッタ	34	17 in 内周部
ディスクカッタ	8	17 in 外周部
土砂取込みバケット	16	外周部
スクレーパビット	42	土砂掻込み用
ティースピット	50	TUFF(V), 土砂山用
摩耗検知器	4	ディスクカッタ用
添加材注入孔	26	面板12, 隔壁6, SC部8
土圧計	9	隔壁7, SC部2
シールド総推力	—	94,012kN

板」と「チャンバ内泥土圧」で分担するため、チャンバ隔壁部の土圧計が示す値は、前面土水圧を完全に反映しているものではない。つまり、本工事で使用するシールドの構造は「泥水圧+カッタヘッド面板」で切羽安定を確保する泥水シールドに類似している。

一般的に泥水シールドの管理泥水圧は、「水圧+予備圧(土圧を含む)」を下限管理値として設定する。そのため、本工事で管理土圧下限値は「水圧+予備圧」とし、掘進停止時の切羽圧を下回らないことを必要十分条件とした。切羽圧はチャンバ隔壁部の土圧計が示す値とした。

掘削土の輸送方式は、スクリューコンベヤから排出された掘削土を後方設備台車に搭載したベル

表-3 添加材1m³配合

項目	単位	配合
特殊起泡剤OK-1	L	15
水	L	985
pH	—	7.5
比重	—	1

トコンベヤを介してずり鋼車(8.0m³積/台)へ積込んだ。その後、ディーゼル機関車でずり鋼車を牽引して坑内を運搬し、立坑で門形クレーンを使用して、ずり鋼車を地上残土ピットにて転回した。

排土量管理は、1リング(セグメント長1.4m)あたりの「掘削量+添加材実注入量」を参照値とし、ずり鋼車台数と1台ごとの積み込み土量体積を測定した。補完的に、ベルトコンベヤ上の土塊形状体積をレーザー測定し、またベルトコンベヤに作用する引張力勘算による重量測定も行った。

4-3 添加材

添加材の選定は、チャンバ内掘削土を塑性流動化させ安定化した泥土を確保し、掘削土のベアリング効果を促進してカッタ部材の摩耗を低減するために、界面活性系気泡材を採用した。掘削地山1m³あたりの注入率は20~25%を基準とした(表-3)。

5 シールド掘進(SB)

土質は先述のように定義分類したが、シールド掘削断面にTUFF(V/IV)とTUFF(IIあるいはIII/II)の複合層も存在するため、掘進に対して検討分類するうえで、表-4に示される呼称を使用する。

礫混じり砂質シルトとTUFF(V/IV)は土砂層としてSoft-G、巨礫および玉石層は強度の高低でCorestone IとCorestone IIに分類する。

シールド掘進において各種パラメータの動向に

表-4 シールド路線地盤分類呼称

地盤分類	呼称
礫混じり砂質シルトおよびTUFF(V/IV)	Soft-G
TUFF(II or III/II)	Rock-G
TUFF(II or III/II)とTUFF(V/IV)の複合層	Mix-G
巨礫・玉石層	Corestone I
	Corestone II

よりカッタ部材の損傷が疑われる場合、掘進を一時中断してカッタ部材の点検のためカッターインターベンション(Cutter Intervention: 以下「CI」と称す)を行う必要がある。Rock-G区間を除いては圧気下での作業となる。

圧気下での作業可能時間および作業後の減圧時間は圧気圧により異なるが、計画圧気圧が2.0～3.4barであるため、作業可能時間は2～3時間、減圧時間は2～4時間となった。

チーム編成は、作業スペースおよびマンロックの定員から1チームあたり3名を標準とした。そのため、24時間連続でのCIを実施するには、3人/チーム×8チーム(最大3時間/チーム作業可能として)=24人プラス予備の圧気作業員を確保する必要があった。

圧気の管理には、自動圧気制御システム(Samson)を導入した。このシステムは、圧気圧を設定することによりチャンバ内の圧気圧を一定に維持するよう圧気調整弁を自動制御するものである。

CIの作業手順はおおむね次のとおりである。

- ① 切羽面の保護および被膜形成を目的としてチャンバ内にベントナイト溶液を注入。
- ② 1時間の養生後、圧気によりチャンバ内の圧力を一定に維持しながらスクリーコンベヤで泥土を引抜き、圧気と置換。
- ③ カッタヘッドを100mm後退。
- ④ マンロックにて作業チームを加圧。
- ⑤ 切羽面の地盤の安定と湧水状況の確認。
- ⑥ カッタ部材の点検調査および交換。
- ⑦ 全CI作業完了後、ベントナイト溶液をチャンバ内に再充填し掘進再開。

5-1 Mix-G掘進(Soft-GからRock-Gへ)

247R(445m)掘進時、ベルトコンベヤ上の排土に岩盤の切削片を確認し、カッタトルクおよびカッタヘッドコンタクトフォース(以降「CF値」と称す)が上昇し始めた。CF値は掘進時カッタ駆動部に作用する外力であり、岩盤掘削において重要なパラメータである。

280R(504m)掘進時にチャンバ内で異音と振動

が発生し、掘進速度が1.8mm/min.まで下降し、カッタトルクとCF値が急上昇したため掘進を中断した。CIを実施し、ほぼ全数のディスクカッタが片摩耗あるいは欠落、割れ欠けの様相(写真-1)を呈していることを確認した。ディスクカッタ支持機構、スクレーパビット、土砂取込みバケットなども大きな損傷を受けていた。

ディスクカッタはRock-Gにおいて岩盤に切込みを入れ、カッタヘッドの回転とともに岩盤粉碎の仕事をする。その結果、ディスク表面の摩耗度は一様に増加する傾向を示す。しかしMix-Gにおいては、ディスクカッタはカッタヘッド1回転につきSoft-GとRock-Gの両地盤を切削するため、カッタヘッド回転によってSoft-GからRock-Gに貫入する際に、その衝撃で欠落、割れ欠けや、さらに脱落が起こりうる(図-4)。

反対にRock-GからSoft-Gに貫入する際には、岩盤切削で得ていた切込み抵抗を失うため片摩耗が発生しやすい。

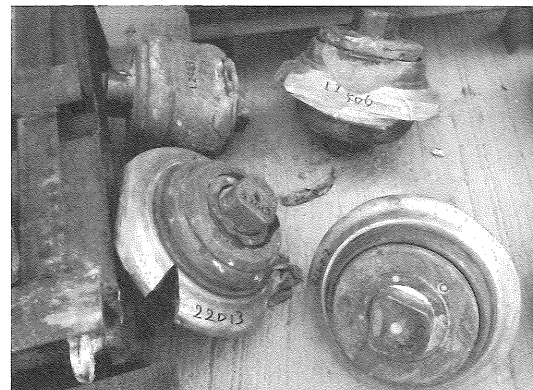


写真-1 損傷したディスクカッタ

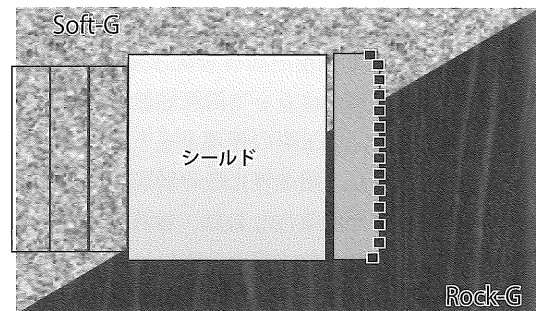


図-4 Mix-Gでのシールド掘進状況

このようなカッタ部材の大きな損傷を招いたのは、Mix-G掘進の難易度に対する認識が低く、岩盤の切削片を確認しCF値が上昇し始めた時点で即座にCIを実施しなかったためである。

5-2 Rock-G掘進(岩盤掘削)

284～400R(511～720m)区間は全面Rock-G(岩盤)掘進となった。平均一軸圧縮強度150MPaで節理の密着性が高い岩盤層である(写真-2)。CF値およびカッタトルクは高い数値を示したが、無加圧で掘進可能な層であるため、平均掘進速度10～12mm/minを確保した。

また、無圧気でのCIを日々の施工サイクルに組み込んだ。地山からの湧水を許容しながらの作業となったため、切羽付近の観測井戸の地下水位

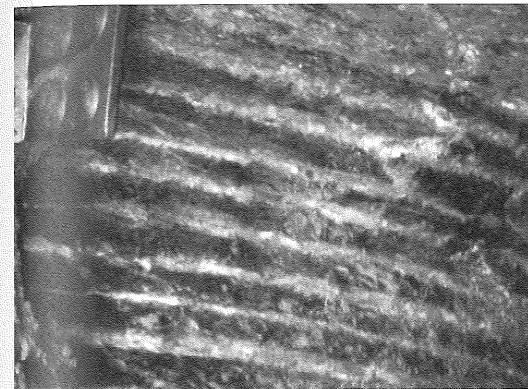


写真-2 切羽岩盤(Rock-G)

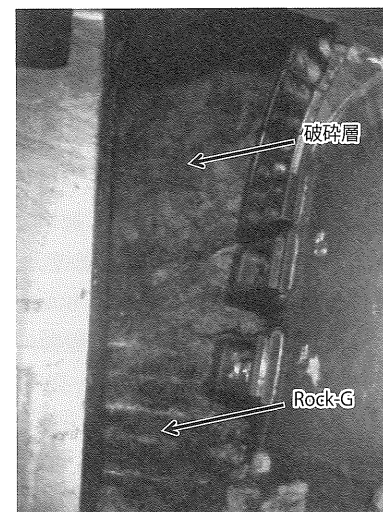


写真-3 Rock-G終端付近(上部破碎層)

の低下が確認された場合は、ただちにCIを中止して掘進を再開し、水位の回復を待たうえで再度CIを実施した。カッタディスクの損傷の大部分は一様な摩耗であった。

398R(716m)付近で切羽上部に破碎層を確認したため(写真-3)、Mix-G進入は近いと考え、全カッタ部材のチェックを行うとともに交換が必要であると判断された箇所はすべて是正した。

5-3 崩落性 Mix-G掘進(Rock-GからSoft-Gへ)

400R(720m)掘進時、Rock-GからMix-Gに進入した。CF値はRock-Gよりも高い値を示した。402R施工時、チャンバ内の異音とともに隔壁部の温度が60～70℃まで上昇し、スクリーコンベヤが回転不能となったため掘進を停止した。閉塞物は損傷したカッタ部材の破片や破断した締結ボルトなどであった。ただちにCIを実施したところ、多数のディスクカッタ、スクレーパビット、土砂取込みバケットの損傷と損失を確認した。したがって、損傷したカッタ部材の交換だけでなく、チャンバ内に脱落した部材の回収を行う必要があった。

この区間のMix-G掘進は難行した。CIの際に切羽が安定せず、幾度となく上方Soft-Gの崩落が発生したためである。CI開始後1時間でその兆候を示すことも多々あった。その都度、CI中止→チャンバ内ベントナイト充填→再掘進→再掘進後CI再開の施工サイクルを強いられた。CIと掘進を交互にくり返したが、CIで交換したカッタ部材が1リングの掘進ですべて損傷もしくは欠落してしまうこともしばしばであった。脱落したカッタ部材の回収も思うように進まず、655Rまで続くこのMix-G区間の掘進を終了したのはそれから約2.5か月後であった。

CF値は、駆動部に載荷する土水圧と切削回転時にディスクカッタ全数に作用する力の総和である。

$$CF \text{ 値 (kN)} = E_p A + n F_d \quad (1)$$

E_p : シールドセンター土水圧

A : カッタ駆動部フランジ面積

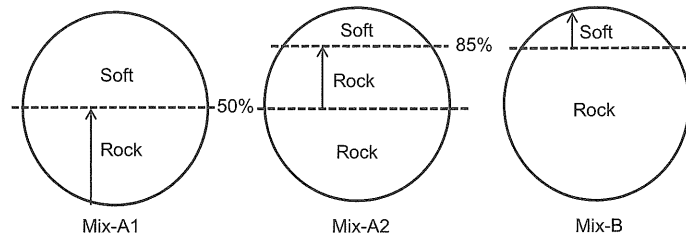


図-5 タイプ別Mix-G

表-5 Mix-Gタイプ別施工難易度

Mix-Gのタイプ	Mix-A1	Mix-A2	Mix-B
掘進長(m)	418	68	41
CI作業1回あたりの可能連続掘進長(m)	30.8	11.5	3.2
CI作業1回に要した時間(時間)	28	26.6	154.6
トンネル1mあたりのCI作業時間(時間)	0.9	2.3	48.3
トンネル1mあたりのディスクカッタ交換数(個)	0.2	0.6	3.6
CI作業時切羽崩落頻度(%)	10	41	49



写真-4 SBシールド到達(岩盤開放到達)

n : ディスクカッタ個数
 F_d : ディスクカッタ1個に作用する力
 非常に苦勞した247~283R区間および400~655R区間のMix-G掘進でのCF値は10,000kNを上回っていた。この区間におけるシールドセンターの土水圧はおおむね3.5bar(=350kN/m²)である。CF値が10,000kNの場合、式(1)から $nF_d = 10,000kN - 350kN/m^2 \times \pi/4 \times 4.6m \times 4.6m$ (4.6mは駆動部フランジの直径)であり、 nF_d は4,186kNである。54個のディスクカッタを装備しているため、1個あたりが負担している力は4,186kN/54個=78kNである。ディスクカッタ1

個の許容耐力は250kNであるから約3倍の安全率を確保しているが、ディスクカッタの総数の約2/3(36個)が脱落や著しい損傷を受けた場合は許容耐力に達する状況となる。実際に両区間では30~45個(55~83%)のディスクが著しい損傷を受けていた。

Mix-Gは掘進の難易度から3タイプに判別された(図-5)。Mix-A1は下半部Rock-Gが0~50%、Mix-A2は下半部Rock-Gが50~85%、Mix-Bは下半部Rock-Gが85~100%である。

表-5に実施工記録からまとめたタイプ別施工難易度を示す。

この表よりMix-Bの施工難易度が卓越していることが見て取れる。切削部材の摩耗度は岩盤切削の仕事量に応じて増大し、かつSoft-Gとの境界面での接触打撃が部材欠損や脱落を促す。また、岩盤切削による掘進速度の低下(5mm/min以下)とその衝撃振動が上部Soft-Gの緩みを促進するため、複合的に難易度が増長する。

5-4 転石層(Corestone)掘進~到達
 876R掘進時、転石層に進入した。この転石層区間(Corestone I)はCF値が高く、Mix-G区間の掘進と同様のディスクカッタの損傷が見受けられ、CIの頻度が増加した。

5-4 転石層(Corestone)掘進~到達

この区間は延長約170m(94R)続いた。970R付近からの転石層区間(Corestone II)はCF値がそれほど高くなく、ディスクカッタの損傷度も減少した。この区間は延長約350m(195R)続いた。

1,200R掘進時、トンネル路線最終地盤のRock-Gに進入した。このRock-Gの平均日進量は1.60R/日となった。本区間はトンネル直上が住宅地となっており、岩盤掘削による振動の苦情が頻繁に発生し、掘進時間が7:00~19:00に制限された。

2013年7月31日に隣接工区施工の立坑に到達(岩盤開放到達)し、2011年9月12日に発進してから約23か月を要した(写真-4)。

6 シールド掘進(NB)

6-1 シールドの仕様変更

当初計画では、1台のシールドでSBおよびNBの2本のトンネルを施工する予定であったが、前述のようにSB施工においてMix-Gの掘進に多大の時間を費やし工事全体工期を厳守することが困難となったため、NB施工用にシールドの追加製作(2台目)をした。シールドの新規設計と製作には少なくとも1年を必要とするが、時間的猶予がない状況のため、1号機(SB)の基本設計を踏襲し必要最小限の仕様変更とした。追加製作発注後、7か月で現場搬入にこぎつけた。

おもな仕様変更は、ディスクカッタの耐力増強と各切削部材支持機構の増強である(図-6)。ディスクカッタにおいては、1号機で搭載した17inのものから19inにサイズアップするとともに、その配置間隔を100mmから90mmに変更した。その結果、ディスクカッタ1個あたりの耐力が22%増強(250kN/個→305kN/個)し、許容CF値の増大が見込まれた。ディスク総数は54個で1号機と同じである。また、ディスクカッタの固定用ボルトの脱落防止低減策として2本のボルト間を鋼材で連結した。

スクレーパビットにおいては、背面摩耗を低減するために、その逃げ角度を増加した。ディスクと他の切削部材(スクレーパ、バケット)の設置段差を35mmから40mmに増加することでディスク摩耗時のビットの損傷軽減を図った。

カッタヘッド開口部からの掘削土の取込み効率の向上を期し、開口率を32.0%から34.5%に増加した。また、1号機ではカッタヘッドに搭載した添加材注入口が泥土の逆流により閉塞を多発したため、機構形状を改善するとともに注入口装置そ

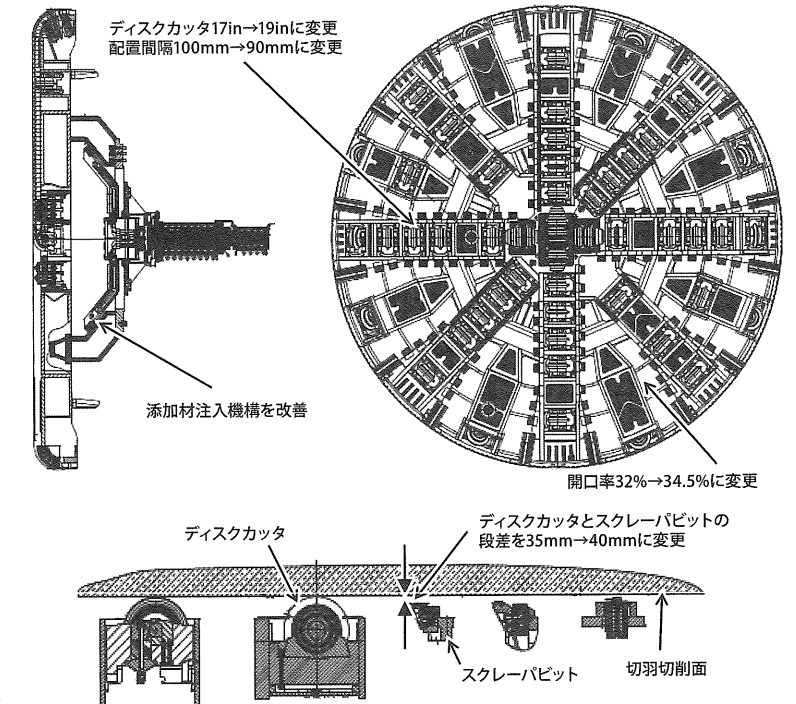


図-6 シールド(2号機)仕様変更

のものを簡単に交換できる構造とした。チャンバ内閉塞を緩和するために高圧水洗浄機構も追加した。

6-2 シールド掘進

2013(平成25)年7月23日にNBのシールド掘進を開始した。NBの掘進において、掘削土のシールドから地上の残土置場までの輸送方法について見直しをした。シールド掘進と後続工事(2本のトンネル間を結ぶ9か所の避難用緊急通路およびインバート施工など)の併行作業を可能にするべく、トンネルから地上残土ピットまで直接残土を輸送できるように坑内水平~立坑垂直~地上水平連続ベルトコンベヤシステムを導入した。

しかし、立坑垂直コンベヤの調達と設置に長い時間を要することが想定され、またコンベヤシステムの故障時の対応策として、ずり鋼車方式も引続き使用可能な設備計画とした(写真-5~7)。

2013(平成25)年7月23日に発進してから約16か月を要し、2014(平成26)年11月6日に到達した(写真-8)。掘削地盤はSBとほぼ同様であったが、シールド掘進に伴う地中からの騒音および振

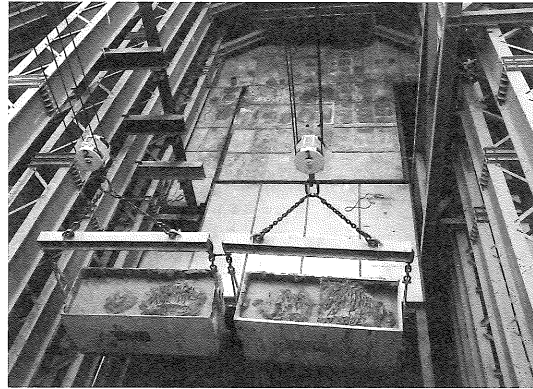


写真-5 ずり鋼車による掘削土の運搬(立坑)

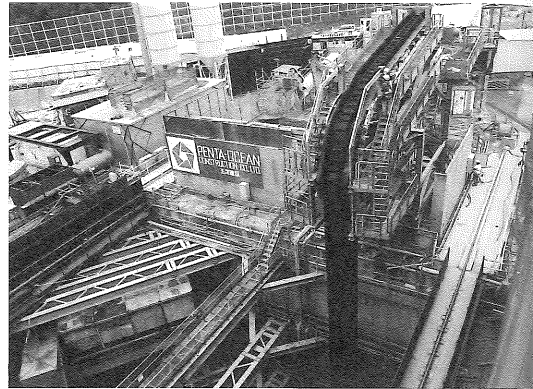


写真-7 垂直コンベヤによる掘削土の運搬(立坑)



写真-6 水平コンベヤによる掘削土の運搬(坑内)

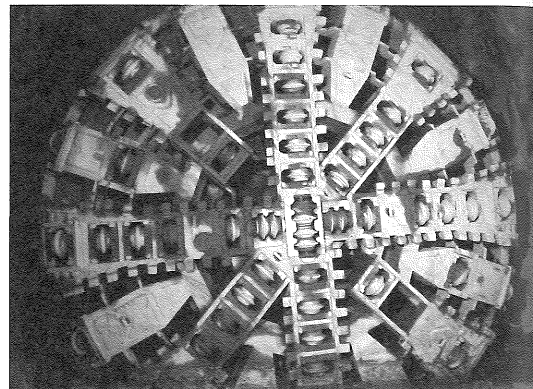


写真-8 NBシールド到達(岩盤開放到達)

表-6 Mix-G日進量の比較 (R/日)

	283R付近	400R付近
SB-Mix-G	0.97	0.78
NB-Mix-G	1.76	2.72

動による苦情がSB以上にあり、住宅地下でのMix-GおよびRock-Gの掘進時間を7:00～19:00に制限された。しかしながら、計画工程より若干早く、またSBの施工日数より6か月以上短縮できた。

表-6にSB施工で難航したMix-G区間(283R付近と400R付近)におけるSBとNBの日進量比較表を示す。

NBのMix-G掘進も必ずしも容易なものではなかった。しかし、シールドの改良も含めSBに比べ施工時の予防措置を確立させていたことが改善に大きく貢献した。とくにディスクカッタのサイ

ズアップ、ディスクとスクレーパの段差増および切削部材補強対策は部材損傷緩和に大きく寄与したと考えている。チャンパ内の添加材注入機構の改良やカッタヘッド開口率の増加は掘削土の流動性向上と切削部材摩耗緩和に貢献した。

Mix-G掘進が困難である理由は、下部Rock-Gを切削する際のカッタ部材損傷の進行と上部Soft-Gの緩みの進行が並行して起こることである。一般的に、シールド掘進時に切羽の緩みや崩壊兆候が確認された場合、掘進速度を増加し、チャンパ内土圧を上げるとともに同時裏込め注入を併用しながら、可能な限り速やかに当該箇所を通過することが原則である。そして通過後に、速やかにセグメントからの二次注入を行うことによって後続沈下を避けることである。

しかしながらMix-Gの場合は、掘進速度の増加が直接CF値増加とディスク損傷度を促進し、

7 おわりに

上下線2本のトンネル間を結ぶ9か所の接続トンネル(避難用緊急通路)、道床コンクリートなどの施工を終え、2015(平成27)年8月下旬にトンネル坑内を後続業者に引渡した。現在、外溝工事(道路工事、載荷盛土工事、下水道敷設工事など)を継続しており契約工期は2017(平成29)年7月に完了する予定である。

最後に、トンネル掘削に臨み、複合地盤克服に尽力、そして多数の困難に対しても決してあきらめることなくその対処を貫いた仲間らに感謝と敬意を表して、本稿の結びとしたい。

その結果CIの所要時間を増長する結果をもたらす。最悪の事態では、カッタ面板自身の損傷を誘発する可能性もある。そのため、Mix-Gの施工管理は、CF値とその変動を最優先パラメータとして掘進速度の制御を行うことを基本方針としたが、NB掘進においてもこの方針を踏襲した。

2号機の改善は限られた時間で実施した必要最小限の措置であったが、さらに改善を求めらるならば、仕事量の多い外周部ディスクの配置や方向、簡易な交換が可能な構造、およびCI作業の自動化などが挙げられる。同様の施工事例に臨む機会があるとすれば、深慮すべき事項としたい。



多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

【掲載工法】

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代) 振替 00110-8-190072

土木情報 No. 516

今月の主な入札結果
(4月10日～5月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
沖縄総合事務局	那覇空港滑走路増設アンダーパス外1件	大日本・太名嘉JV	2,313
関東地整	東京港臨港道路南北線中央防災堤内側地区接続部及び沈埋函(1号函)製作・築造	鹿島・東亜・あおみJV	7,345
〃	〃 沈埋函(2号函・3号函)製作・築造	東亜・鹿島・若築JV	7,750
〃	〃 10号地その2地区陸上T築造	大林・日本国土・株木JV	3,587
〃	〃 接続部及び沈埋函(7号函)製作・築造	大成・五洋・大豊JV	5,806
近畿地整	紀北西道路安上岩出T覆工他	奥村組	828
鉄道・運輸機構	中央新幹線, 小野路非常口他	鹿島・オリエンタル白石・鉄建JV	9,350
東日本高速道路	横浜環状南線公田笠間T	鹿島・竹中・佐藤JV	68,670
中日本高速道路	中部横断自動車道石合T	奥村組	2,747
東京地下鉄	外苑前駅出入口2改良その他に伴う建築・土木	安藤ハザマ	3,201
川崎市	大師河原貯留管その4	前田・名工・岡村JV	1,200

第七十八回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

「アリマックの HORIBA」 の 掘場 始末記

(元)大成建設(株)
堀場 秀享

はじめに

私がトンネル工事に配属されたのは、入社2年目の1966(昭和41)年の春でした。配属先は、このシリーズの第17回に成豊建設(株)の故野崎弘義氏が寄稿された「木普請からNATMへ、多断面から全断面へー懐かしきな松矢板のかほり」(Vol.42, No.5(2011(平成23)年5月号)にも紹介されている、日本道路公団小田原厚木道路の風祭トンネル上り線工事でした。

その後、入社して4年目に電源開発(株)沼原揚水式水力発電所に配属になったのを皮切りに、関西電力(株)奥吉野揚水式水力発電所、四国電力(株)大渡発電所、インドネシアINALUMアサハンタンガ水力発電所、中国水利電力部魯布革水力発電所まで、計5か所の水力発電所(総発電量約3,000MW)の水圧管路工事担当者として国内外を渡り歩きました。

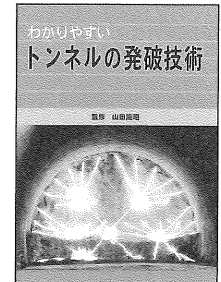
斜坑の導坑掘削を専門とした結

果、社内では掘削機械であるアリマックの名前を冠して「アリマックのHORIBA」というあまりありがたい呼称がつけられました。

海外工事を終えたころの当時の私自身は、数多くの斜坑工事での失敗経験から学び、さまざまな工夫を加えることで各現場に適応したアリマック工法のひとつの完成形に近づいた、との自負もありました。

その1980年代末に、私にとっての中国での最後の斜坑を掘り終えたころに、国内では危険性が高いアリマック工法に変わり、斜坑TBM工法が開発・導入されようとしていました。斜坑工事に長年携わってきた私から見ると、この斜坑TBM工法は、斜坑工事で発生するさまざまな問題を解決し得る工法だと思い高く評価する一方で、「アリマックのHORIBA」の時代も終わりつつあるとの思いが頭をよぎったものでした。

このような私の30年にわたるト



トンネル発破技術のバイブル!!
わかりやすい
トンネル発破技術

監修 山田隆昭
B5判 76頁 本体価格1,500円 円300円

本書は、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策について詳しく解説している。

株式会社 **土木工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072



筆者近影 沼原発電所前

著者略歴

1965年4月	大成建設(株)入社
1966年5月	日本道路公団小田原厚木道路風祭トンネル工事
1969年2月	関東農政局深山ダム工事
1969年12月	電源開発(株)沼原揚水式水力発電所工事
1973年10月	関西電力(株)奥吉野揚水式水力発電所工事
1976年12月	四国電力(株)大渡水力発電所工事
1978年9月	インドネシア アサハンタンガ水力発電所工事
1982年9月	インドネシア チラタプロジェクト工事
1984年9月	中国水利電力部魯布革水力発電所工事
1987年10月	群馬県道川湯-片線線背嶺トンネル工事
1989年8月	千葉県国分川分水路トンネル工事
1991年3月	東海旅客鉄道(株)リニア山梨実験線九鬼トンネル工事
1996年4月	東京支店 積算室長
1999年4月	成和機工(株)基礎工事部
2005年9月	成和機工(株)退社

ンネル人生で、忘れられない、また忘れてはいけない経験が3つあります。

1つ目の経験は、多くの方が記述されていますNATMとの遭遇であり、『トンネルと地下』誌との出会いです。

2つ目の経験は、アリマックライマー工法での作業中に酸欠による災害で一度に3名の貴重な人命を失ったことです。

3つ目の経験は、トンネルの水没災害です。

酸欠災害も水没災害も特殊な事例ではありますが、トンネル工事では今後も起こり得る災害であると思いますので、災害の教訓として皆様のお役に立てることができたら幸いと思い、「語り継ぎ 言い継ぎ行かむ」こととして、この3点について自らの反省を込めてご紹介いたします。

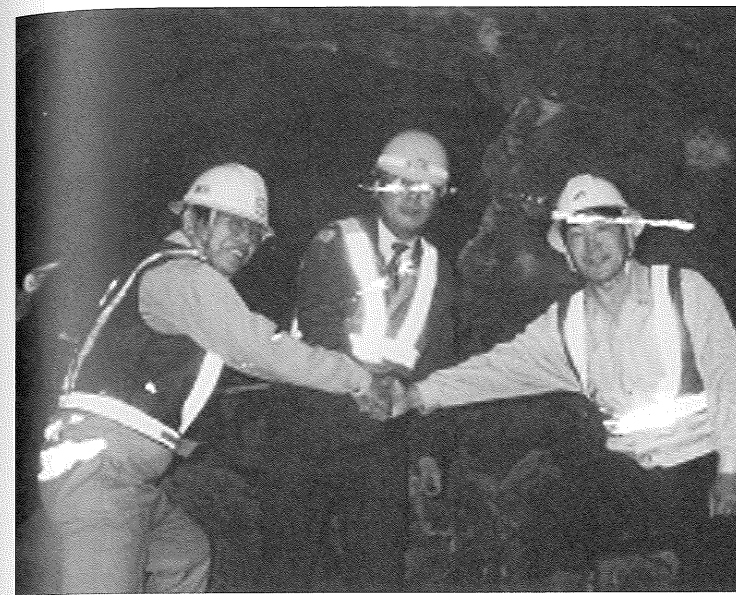
「風祭トンネル」の思い出

私が1966(昭和41)年に赴任した風祭トンネルでは、いまだに導火線発破が採用されていました。おそらく日本でもっとも遅くまで導火線発破を使用した現場のひとつではないかと思われます。新米トンネル屋の私は「捨て導火」と言われる先端に雷管が付いてない導火線で点火後の退避時間を測って、発破退避の合図をするという恐怖の時間を、毎日毎日幾度となく経験したものです。その当時は、重大災害がトンネル1kmに1人、発電所1万kWに1人と言われていた時代でした。

入社して2~3年を経過し、トンネル工事にもある程度慣れてきて自信が付き始めたころに、私は就職して思い描いたことと、現実との乖離に少し悩み始めました。そのときに成豊建設の野崎弘義師に巡り会うことができました。この野崎弘義師は「豊後土工」の鑑のような方で、朝な夕なに同郷でもある坑夫たちの安全と、そのご家族の健康までも気づかわれて現場や宿舎を巡視されておられました。

私のような者が大先輩を「師」と仰ぐことは失礼かも知れませんが、まさに私にとって「師」と呼ぶべき方でした。

当時思い悩んでいる私に野崎師は「石の上にも3年、自分の成長に自分自身が気づくはずです。大切なのは次の3年、自分はどうかあるべきかを決めて努力する。そうすれば愚痴を言う暇はなくなりま



山梨リニア実験線九鬼トンネル貫通式 右側筆者

すよ」と優しさの中にも厳しさを込めて諭して下さいました。それで、次の3年は「よし! トンネルでがんばるぞ」と決意したのでした。

この出会いと、かけていただいた言葉を肝に銘じ、私は初心を忘れがちになると、野崎師の言葉を思い出し、1996年に山梨リニア実験線九鬼トンネルを退くまでの長きにわたり、技術者というよりは「トンネル屋」として工事に従事することができたのでした。

「中国でのトンネル掘削」の思い出

次に印象深かった1984年に赴任した中国の中国水利電力部魯布革水力発電所での思い出を書いてみようと思います。私が携わった工事は、中国水利電力省発注の魯布革プロジェクトの導水路とサージタンクおよび水圧管路トンネルの工事でした。

場所は雲南省東端の貴州省との省境近くで、少数民族の布依族の居留地域でありました。この雲南省から貴州省一帯には石灰岩が分布し、奇岩、奇勝の連続でそのスケールの大きさに圧倒されました。

トンネル工事の作業員たちは、官営とも言える中国工程公司14局の所属で、その14局をノルウェーのスーパーバイザーが支援していました。そのため、中国側の発電所工区の施工に使用する機械類はノルウェー製が多く、ホイールタイプの2ブームの油圧削岩機、NATM用ファイバーモルタル専用のポンプとブームの一体型の吹付け機械、さらにANFOの自動装填器や非電気式(ノネル)雷管の使用という施工編成でした。

一方、われわれは、維持、修理に慣れた機械という判断から国産

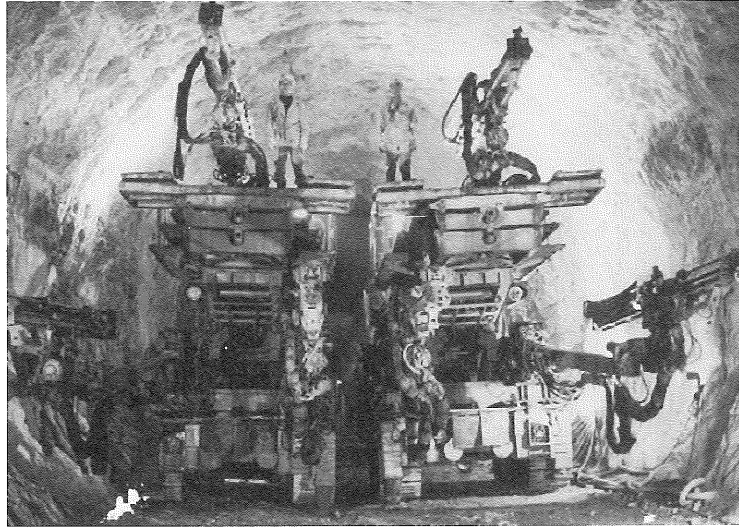
のクローラ式の3ブーム油圧削岩機を持ち込んでいました。ところが、「しわい」石灰岩の削孔能力に歴然と差があり、ノルウェー製の削岩機のパワーに圧倒されました。

実際の施工手順や組織については、作業項目ごとに分割されており、削孔隊、装薬隊、すり出し隊、支保工隊と次々と作業隊が入れ替わる体制でした。このため効率が悪く、発破の失敗や支保工建込み不良などの不備については、隊ごとの声高な責任転嫁論争に終始して一向に改善が進まない状態でした。そこで改善提案として、われわれは削孔~支保工まで一編成でやりきる案を提示しました。何度かの折衝の末に、すり出しに限っては運転免許所持の制限から別働隊とするという折衷案で着きました。このような組織形態でトンネル進行を稼ごうと努力しましたが、目標月進の200m/月の達成には程遠い日々が続きました。

そこで打開策として180m/月の進行を基準給与の条件として支払うことを約束し、10m延びるごとに懸賞金を支給することとし、さらに作業長には「ある範囲で」支給額の査定権限などを与え、懸



魯布革水力発電所位置図



中華人民共和国魯布革水力発電所導水路工区 3Bクローラ式ドリルジャンボ×2台

賞金を作業員に直接支給すること
にしました。

進行を上げる最善策は万国共通
のようで、その結果が月進380m
超、中国語で世界一「スージャー
イー」となり、発注者や中国工程
公司14局およびその作業員とも
も誇りを持った仕事ができたと
思っております。また、掘削面の
仕上がり状況は、上写真に見るよ
うに、日本でも見たこともないほ
どの円滑なもので、われわれ日本
人技術者の指導的確であったと
も言えますが、中国人の真摯で妥
協のない努力に敬意を表した次第
でありました。

「アリマックのHORIBA」 と呼ばれて

水圧鉄管路斜坑(傾斜角50°前
後)工事の一般的な掘削は、導坑
先進拡大掘削工法であり、最初
にすり抜き導坑を掘り上がり、次
の段階として上部より拡幅掘削を
行う、という2つの工程で行われま

す。

1960年代までは、斜坑掘削の一
般的な工法は導坑先進工法が用い
られ、一発破ごとに木製支保工を
切羽に建込む方法でした。導坑全
線にわたり、木製支保工を口の字
(2.0m×2.0m)に組み、その中間
に柱を建て、それに木矢板を打付
けて、人道とすり道を分割しまし
た。もちろん、人道には階段を設
置し人荷の昇降に利用しました。

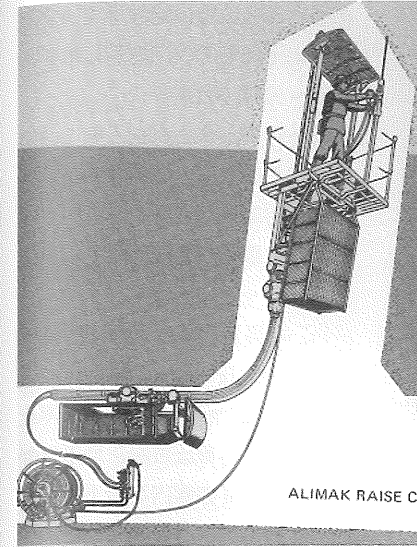
1960年代後半からは、斜坑掘削
にアリマックと呼ばれるスウェー
デンで開発された機械が導入され
ました。おもに鉱山で使用されて
いる人荷の運搬装置と移動式作業
架台とが兼用されたもので、空圧
や電気駆動で人荷の昇降も容易
になりました。これにより、人道を
設ける必要がなく、地質の良い地
山では無支保工で掘進することが
可能となり、安全性、施工性は以
前の工法に比較して飛躍的に進歩
しました。アリマックの切り上が
り能力は、空圧式200m、電動式

500m、ディーゼル駆動の油圧式
では限度がないと言われておりま
す。

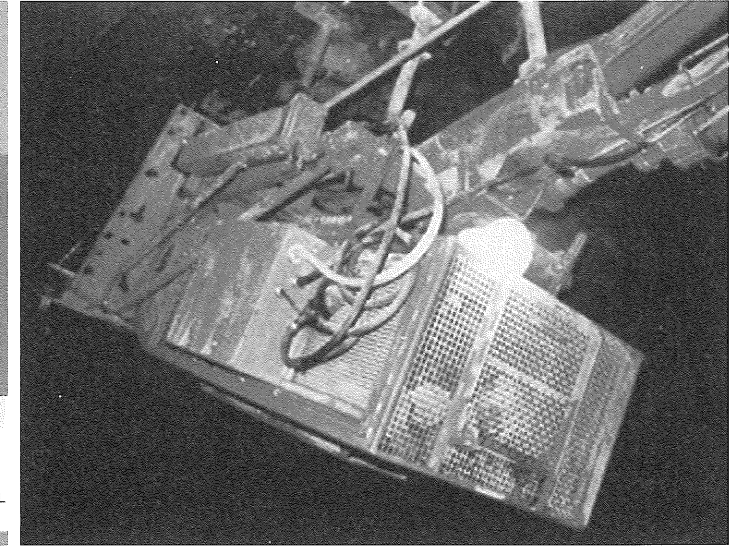
当時のアリマックではすべての
装薬孔は人力削孔で、横向き削孔
にはレッグドリル、立向き削孔に
はストーパーという小型削岩機を
使用しましたが、最近海外では、
油圧式1ブームドリルジャンボを
搭載したアリマックが使用されて
います。

アリマック工法は、基本的に
ヨーロッパの良好な岩盤が広く分
布する地山で開発され、採用され
てきたもので、地山の悪い箇所が
多く出現する日本では施工面、安
全面が従来の工法より向上したと
しても、完全なものではありません
でした。

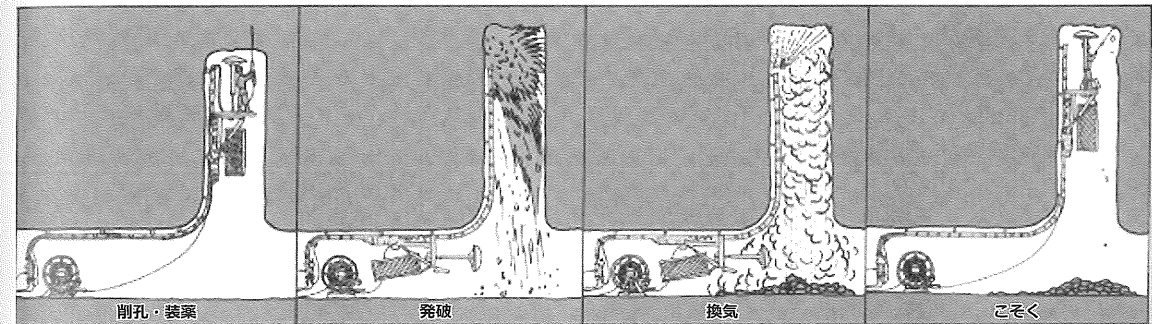
そこで日本の地山での斜坑の掘
削にアリマック工法を用いるう
えで、もっとも注意を払ったのは、
地山不良箇所で蛇行させずに導坑
の直進性と位置の精度を保つこと
でした。アリマック工法での導坑
掘削時に、とくに上下への蛇行が
発生した場合、上部より拡幅しな
がら切り下がる時に、導坑の盤
が設計より極端に高い場合はス
ムーズにすりか導坑に落ちずに拡
幅した断面の底盤に溜まるため、
導坑の中に入って危険な盤打ち作
業を先行し、スムーズにすりか落
ちるようになる必要が生じます。
一方で、盤が低い場合は軌条にサ
ンドルを取り付ける必要があり、
その箇所にすりかが堆積します。
このように導坑の直進性や掘削位
置の精度が悪いと、非効率で危険な
施工状況となります。



アリマックレイズクライマー全装備図



作業用プラットフォーム



アリマックレイズクライマー施工次第図

この対策として測量を正確に実
施することは当然ですが、工事に
従事する全員が直進性を保つこと
に強い意識を持ち、それを継続し
て実施できるように厳格な管理を
行う必要があります。このように
強い意識を持ち施工を行うことが、
スムーズで安全な施工につながり
ました。

このほかに行った改善として、
アリマック工法に装備された換気
方式に加えて、別ルートの換気方
式を採用することで、導坑内の酸
欠対策とともに、粉塵濃度を低下
させることで、測量に使用する

レーザー光線の透過性を確保する
など、アリマック工法のひとつの
完成形に近づけることができた
と自負しています。

このようなアリマック工法の問
題点を抜本的に解決し得る工法と
して本シリーズの第11回、井上堯
之氏「山岳トンネルの半世紀」
Vol.41, No.11(2010(平成22)年
11月号)に記されておりました斜坑
TBM工法が1980年代末ごろに開
発されました。私も帰国後、塩
原発電所および葛野川発電所で実
物を見学させていただきました。こ
の見学を通じて、斜坑TBMは斜

坑工事で発生する多くの難問を技
術的に解決した工法であると思
いました。その一方で、私が長年携
わってきたアリマック工法が、も
う過去の技術になりかかっている
のか、「アリマックのHORIBA」
の時代も終わりつつあるのか、と
の感慨も抱きました。

わが国特有の特殊な地質への対
応や運用およびコストの問題など、
斜坑TBMにも検討の余地もある
かと思いますが、斜坑という特殊
な環境における安全性の高い工法
がいつそう発展されますことを期
待しております。

『トンネルと地下』誌との 出会い

1970~80年代にインドネシアに赴任したおりに、現地技術者たちは通常の測量に最新の測距器を使用していました。その後赴任しました中国では、すでに長孔発破とともに非電気式雷管やANFO爆薬が普通に使用されていました。このように、開発途上国=技術後進国という単純かつ誤った見方は先進国の技術者のおごりだと思えます。この事実から私自身は、「日本の土木技術は世界一」との思い込みは、単に「井の中の蛙」であることを思い知らされたという印象があります。技術者は、常に先進的かつ謙虚であるべきで、最新の情報を的確に把握しなければなりません。

すでに記しましたように私は1979~1986年の8年間海外工事に従事しており、この時期にトンネル工法の工法自体が大きく変革しました。いわゆる「NATM革命」です。海外赴任のため、私は体系的にNATMを経験する機会には恵まれませんでしたが、社内資料や休暇時に日本から持ち帰った『トンネルと地下』誌の記述や解説などを何度も読み返し、貴重な誌上体験をさせていただき、手探り状態ではありましたがNATMなどの最新技術を積極的に取り込んでいくことができました。

海外から帰任後に群馬県発注の背嶺トンネル工事に配属になり、初めてのNATMによるトンネル施工を経験することになりました。

初のNATM施工にもかかわらず、同誌からの技術の習得や多くの方々の支援を受けまして、無事対応することができました。

1988(昭和63)年2月号(Vol.19, No.2)に「湧水地帯の崖錐層における特殊工法一県道平川沼田線背嶺トンネル」、1989(平成元年)年6月号(Vol.20, No.6)には当時の中国におけるトンネルの施工事例として「出た! 最大月進374m—中国魯布革水力発電所」を掲載していただきました。読者であり著者ともなり得ます皆様の、新技術に挑戦した実績レポートこそが、『トンネルと地下』誌をいっそう有意義なものにします。皆様も大いに進んで寄稿され、わが国の地下技術の進歩に寄与されますよう切望して止みません。

忘れてはならない災害事例

トンネルにおける酸欠空気と水没に関する災害は、事例は少ないですが、被害は甚大です。このような悲惨な災害を招くことのないよう、ここに語り継ぐべきと思えました。それぞれの事例について、「先例と先輩の教訓」「自らの体験と前兆」「災害の発生」、についてまとめてみました。先例や教訓を真摯に受け止め、また前兆を鋭敏な感覚で把握してトンネルにおける災害ゼロを、実現していただきたいと思えます。

■酸欠空気による災害について

私自身がアリマック工法で経験し、かつ決して忘れ去られてはならない酸欠空気による災害について、つねづね記述する使命が

あると自らに言い聞かせていました。以下にその状況を記します。

(1) 先輩の教訓

1969年春、深山ダム工事に従事していたおりに、先輩が私を沼原発電所の調査坑に連れて行き、次のように事細かく説明してくれました。

「この調査坑を、400m程掘削したとき約12t/minの被圧水に遭遇し、そこから奥への掘削が停止されている。被圧された地下水が時間をかけて岩盤内を流下する際に、岩盤に含まれる鉄分などの酸化作用により地下水中の溶存酸素が消費され減少する。その酸素欠乏状態の地下水が被圧状態を開放された坑内に大量に湧出すると、坑内の空気中の酸素を地下水が瞬時に吸収して奪うため、坑内が一気に低酸素状態になる。空気中の酸素濃度が16%より低くなると運動機能障害や意識障害を起こすと言われている。このときに人体が反射的に酸素を取り込もうと呼吸障害の一種の過呼吸状態となり、低酸素空気をさらにいっそう大量に取り込んでしまう。このために、そこからの脱出はきわめて困難になり、容易に死に至る。」

このとき話されたことは、今でも鮮明に記憶しています。

(2) 自らの体験

1971年春、電源開発沼原発電所の水圧管路1号の導坑切り上がり掘削の延長が200mに達したとき、測量基線のレーザー光線が支保工に当たっていると報告がありました。そのため、半日後に斜坑

の坑底からレーザー光線を所定の位置にセットし、1人でアリマックに乗込み、レーザーとガイドレールの位置関係を確認しながら順次昇って行きました。

180m地点に達した時点で、急に眠りに引込まれる感覚がありました。先輩の話聞いていなかったら、そのまま眠り込んでいたかも知れません。「これが酸欠症状か」と冷静な自分が、睡魔に引込まれそうなもう一人の自分を分析しているような感覚が一瞬ありました。次の瞬間にわれに返り、アリマック本体にある遠隔操作の給気バルブの電動スイッチを回しました。ほどなく新鮮な空気が送られてきて、事なきを得たのですが、アリマックで斜坑を昇るときは作業基地の給気バルブを開放して換気状態を確認するという基本的な作業手順を、自ら軽視した結果が招いた経験でした。

(3) 酸欠災害の発生

1976年夏、関西電力奥吉野発電所導水路工区の現場事務所に「斜坑の導坑に上がったアリマックが夕方になっても降りてこない。専用電話で呼んでも応答がない。」旨の連絡がありました。「酸欠だ。」と私は叫んでいました。そのときは、先行する導坑の崩壊処理もあって、現場自体に施工管理とくに工程管理と安全管理に混乱が見られたことは否めない状態でありました。

救助隊が換気のためにエアホースを延長しつつ、切羽にたどりついて見た光景は、1人がケージ内で手動ブレーキを利かし、もう1

人はまさにエアバルブを開放しようとしていたとのことでした。3人目の方は導坑を200m滑落して坑底のずりの上に倒れていました。

この事故の原因は、導坑先端のガイドレールに取り付けている給気管のバルブを閉めていたため、換気用のエアが放出されなかった作業手順上の不備が挙げられます。もう一面では、斜坑という特殊な環境下において工程上の制約から1か月以上も切羽作業が中断し、換気などもされないまま放置されていたことが酸素欠乏状態を招いた真の原因とも言えます。

その後の導坑掘削時の酸欠対策としては、作業手順の遵守という不確定になりやすいものとは別途に、作業基地に小型のターボファンを設置し、導坑内に弦巻鋼管(4in)を配管し、常時稼働している換気方式を採用しました。それにより、換気に関する問題はなくなり工事を無事完了することができました。

すべてのトンネルにおいて、どのような場合でも所定の空気量を確保することを絶対に怠ってはなりません。酸欠の地下水が存在する場合や放置期間が長い場合は、トンネル内が一気に酸素欠乏状態となる危険性が高くなります。トンネル工事に従事する方は、常に酸素欠乏空気や有毒ガスのことを忘れないでいただきたいと思えます。

■トンネル水没災害について

施工中のトンネルが水没、崩壊すれば、工事関係の被害のみならず、地上部の道路の陥没や家屋の

倒壊など一般社会へ大きな影響を及ぼします。

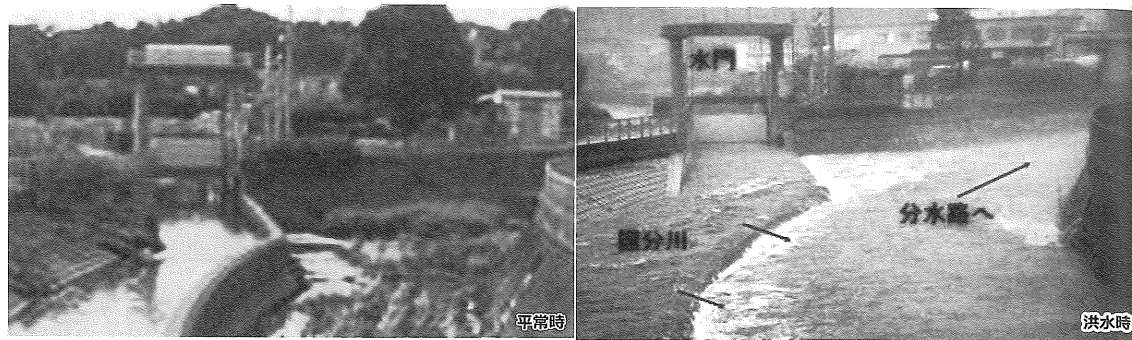
(1) 先輩の教訓

1978年春、高知県の仁淀川に計画された四国電力(株)大渡水力発電所の導水路(φ=4.5m, L=911.5m)を担当していました。そのときに所長より、洪水時のダム の堤内バイパスなどの排水能力から一次的に河川水位が上昇するので、トンネル内への浸水を防止するために、取水口側のトンネルを閉塞するように指示を受けました。しかし、建設中のダムの高さからこのトンネルの位置まで水位が達するとは、にわかに想像できないものでした。締切りの構造は、覆工コンクリートに埋設した鋼製アンカーにH形鋼で補強された厚い鋼板を取り付けたものでした。

その年の梅雨時に仁淀川では3,300t/s規模の洪水があり、施工中のダムの一部を越流する状態となりました。建設中のダムの越流幅が狭く、上流に向かいバックウォーター現象が発生して河川の水位が急激に上昇し、導水路はあっさりと冠水してしまいました。トンネルの取水口が閉塞されていなければ、下流域は恐ろしいことになっていたと思えました。

(2) トンネル浸水の体験

1990年春に、千葉県国分川分水路トンネル工事を担当しておりました。この工事は、国分川が毎年のように氾濫をくり返し、下流域の市川市に多大な損害を及ぼすため、想定洪水量120t/sの80%強を分水して、近接する坂川に流し、最終的に排水機場設備で江戸川に



平常時と洪水時の国分川の状況(平常時の写真は<http://www.snapshotblues.seesaa.net/article/282304095.html>より、洪水時は<https://www.pref.chiba.lg.jp/mamagawa/shuyoujigyou/seibigaiyou.html>より引用)

放流することで、洪水の抜本的な対策を行うものです。この工事は水門部と3つのトンネル部(上流部、中流部、下流部)とに分けられ、トンネル部の中間には立坑が設置されていました。この立坑を経由し上流部はすでに覆工コンクリートまで完成していました。立坑から下流側に向かう中流部が私の担当工区でした。

水門部のトンネル呑口部は、水深にして5mほどの河川水で常時満たされており、トンネル坑内の上流部と中流部の境にはJSG(高圧噴射攪拌工法)で厚さ4mほどの遮水壁が造成されていました。この年に時間雨量20mm程度の豪雨が発生し、国分川が一部氾濫して作業員宿舎が床上浸水し、トンネル上流部もほとんど冠水したのには驚かされました。

(3) トンネル水没災害の発生。

私は1991年2月に担当区間の施工を完了して、別の施工会社に工事を引継ぎました。その後トンネル中流部に設置されていたJSGによる遮水壁が撤去されて、覆工もつながり、代わりに呑口部に鋼矢板などによるトンネル浸水

防止の仮締切り工が設置されたとのことでした。その年の9月、台風による大雨で国分川が増水し、その水圧で仮締切りが決壊して、トンネルが水没。トンネル内で作業していた従業員など7名が水死したという災害が発生しました。これに関しては、『失敗知識データベース』(科学技術振興機構(JST)・國島正彦・塚原紗智子著)に事故の原因と経緯に関する詳細な報告書としてまとめられています。

平常時には都市に隣接した田園風景の一部と見られる小河川も、集中豪雨にさらされると写真のように状況は一変します。時間雨量20mmは、最近では頻繁に経験するようになり、100mm/hに達しても、もはや想定外ではない現況を踏まえて、連絡体制の強化など、事前の準備を怠らないことが大切です。

絶対にトンネルを水没させることのないように、本設の水門の先行設置とか、ダムにおける仮排水路トンネルのプラグコンクリートに準じた対応などをすべきであると思います。このような対応をあ

らかじめ取ることで、安全施工に努めていただきたいと思います。

おわりに

先日、高速道路トンネルの難工事の所長をされた傘寿を越えた大先輩から電話をいただきました。お電話の中で大先輩は、「昨今のトンネル建設工事の若い技術者は、切羽から学んで技術を磨いているのだろうか? リニア新幹線をはじめとして都市部山岳トンネルや長大トンネルなどが発注、施工されることが予測される中、技術の継承が若い人たちに本当にうまくできているのか?」と心配をされていました。

われわれ世代は、先輩たちから、
・問題が発生すると夜通し切羽に立ち続けるように。
・難関工事に挑むときは、切羽に立ち、切羽に話しかける。当然にも返事はない。だが毎日自問自答をくり返していると、例えば明け方にふと目覚めたとき、さまざまな壁となっていたものが取り除かれ、いいアイデアや解決の道が見えてきたりするものだ。

・現場こそ技術の宝庫であると認識するように。
と教えられてきました。

先輩たちは技術者として、切羽の先をも洞察せんとする鋭い観察眼を備えておられました。そして傘寿を越えてなお、心は「常在切羽」の意気も高らかです。私もこの先輩を見習って、今も「常在切羽」の心意気でいこうと思います。

退職後の2014年9月に日本トンネル専門工事業協会のセミナーの後の懇親会に出席させていただき、久しぶりにトンネル談義に花を咲かす機会に恵まれました。そのと

きに数多くの協会員の皆様から「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」の連載が話題に上りました。私同様に皆様からも、一緒に仕事をされた方々の寄稿もあって、大変好評で楽しみにしておられる様子が伝わってきました。ぜひ、この企画を続けていただければと思います。

私は18年間水力発電所における水圧管路(斜坑)という特殊な工事に従事しておりました。従事した前半部分において、地質条件に恵まれないこともありましたが、斜坑掘削中に7名にも及ぶ犠牲者を出したことは誠に痛恨の極みです。

失敗の多かったトンネル人生ですが、NATMへの対応や水圧管路工事における災害の経験を「語り継ぐ」ことが、皆様のこれからのトンネルへのかかわり方、とくに災害防止の一助となりますれば誠に幸いです。

若き技術者の皆様には、大先輩の遺言とも言えます、日々切羽を観測して、確かなる観察眼を養って、未知なる世界に対する挑戦者として「生きがいとやりがい」のある、堂々たるトンネル人生を歩まれんことを期待いたしまして、私の稿を終わりたいと思います。

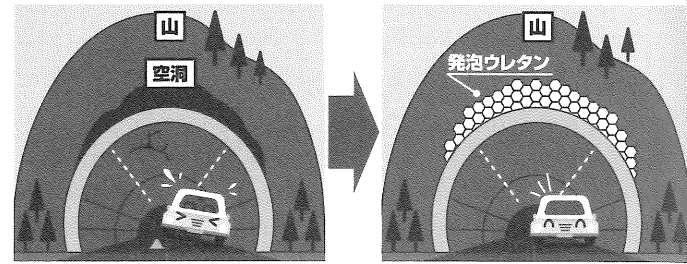
トンネルジャーナル

発泡ウレタン空洞注入協会が発足

トンネル補修技術である「アキレス Tn-p 工法」の品質・施工技術の向上および普及拡大を目的とした「発泡ウレタン空洞注入協会」が、アキレス、岡三リビック、伊藤忠建材の3社が発起人となって、設立された。

同協会は、国土交通省が運営する民間企業の新技術情報提供システム (NETIS) の活用促進技術に指定されている「アキレス Tn-p 工法」を拡販し、技術講習会などを通じて施工品質のさらなる向上を目指すもので、同工法の拡販PR活動、技術資料、統計資料などの整備・発行、官公庁への周知活動や技術講習会の開催などを行う。設立時の加盟企業は38社で、事務局はアキレス(株) 開発営業部に置かれる。

日本国内の道路トンネルは約10,000本あり、このうち、建設後50年以上経過したトンネルは20%を占める。この割合が20年後には50%まで増加する。2012年の笹子トンネル天井板崩落事故以降、土木構造物の老朽化が社会問題となり、2014年に国土交通



省はすべての道路管理者に対してトンネルの定期点検を義務づけている。

同協会では、トンネル老朽化対策や予防保全に有効な「アキレス Tn-p 工法」に対するニーズが今後高まっていくと想定しており、これに合わせて官公庁などへの周知活動を強化していく。

発泡ウレタン空洞注入協会事務局

田中弘栄(アキレス(株))

TEL: 03-5338-9642

〒169-8885

東京都新宿区北新宿 2-21-1 新宿フロントタワー

平成27年度地盤工学会賞受賞者が決定

地盤工学会は平成27年度の地盤工学会賞を決定したと発表した。同賞は地盤工学分野における学術や技術の進展に顕著に貢献し、社会的貢献度の高い業績や論文を対象に個人、機関、およびそれらのグループに送られる。環境賞、技術賞、研究・論文賞の3部門からなり、環境賞部門の地盤環境賞、技術賞部門の技術業績賞、技術開発賞、技術奨励賞、研究・論文賞部門の研究業績賞、論文賞(和文部門・英文部門)、研究奨励賞の3部門7賞で構成される。

応募総数は31件、受賞者数は15件で、下記の環境賞部門1件、技術賞部門4件のほか、研究・論文賞部門10件が受賞した。受賞者は6月8日の通常総会で表彰される。

■地盤環境賞(技術)

飛鳥建設ほか：丸太打設液状化対策&カーボンス

トック工法(LP-LiC工法)、丸太打設による液状化対策と地球温暖化緩和策。

■技術業績賞(事業)

仙台市ほか：2011年東北地方太平洋沖地震により被災した仙台市の造成宅地の調査・復旧対策設計プロジェクト。

■技術業績賞(技術)

新谷洋二ほか：文化財城郭石垣の修復復元に当たっての多様な意見調整と地盤工学的解析結果の導入。

首都高速道路ほか：地盤特性を考慮した斬新な施工工法を適用した大断面シールドトンネルの分合流部構築技術(中央環状品川線 五反田出入口)。

■技術開発賞

加納敏行ほか：れき残渣の有効活用によるアップサイクルブロックの開発。

施工

中国における扁平大断面矩形状シールドの開発と試験施工

—寧波市地下鉄3号線引込み線—

(株)地域地盤環境研究所所長 橋本 正
寧波市軌道交通集団有限公司総工師 朱 瑤 宏
上海隧道工程有限公司総工師 朱 雁 飛
(株)地域地盤環境研究所事業推進部次長 早川 清

本稿では、矩形状の特殊シールドの開発経緯と試験工事結果について、その概要を報告する。

2 概 要

2-1 工事概要

工事名称：寧波市軌道交通3号線一期工事出入り線工区

工事場所：中国浙江省寧波市鄭州区

工事内容(矩形状シールドトンネル工)：

シールド断面	11.83m × 7.27m
トンネル内空断面	10,600mm × 6,037mm
掘進延長	L = 390.3m
土かぶり厚	T = 2.5 ~ 10.46m
最大勾配	i = 35.0%
最小曲率半径	R = 400m

2-2 周辺環境・地盤条件

2-2-1 周辺環境

当該工事の全体範囲は広徳湖南路(計画)の西側の田園地帯に位置し、現状では耕作地と商業地区、居住用地が混在している。路線上には、プラスチック包装工場やモーター工場などの建物や滞留河川がある(図-1)。

1 はじめに

寧波市軌道交通地下鉄4号線は、道路幅が狭く、周囲の建物が集中した旧市街区間を通過する。従来の円形シールド工法では既存の建物・構造物への近接度が高いため、これらに与える影響は必至である。このため、都市鉄道交通に向けた地下空間の高度利用および周辺影響を最小化に資するため中国初の矩形状断面シールドトンネル工法の確立を目指し、3号線引込み線部において試験工事を実施した。

超鋭敏な軟弱粘性土地盤における小土かぶり、平面縦断曲線の競合下の掘進という条件下で、縦横比0.6の扁平大断面矩形状土圧シールドによるトンネルの施工は、世界的に類を見ないプロジェクトである。

したがって、本プロジェクトを進めるにあたっては、マシン、セグメントなど事前の十分な設計検討および施工計画立案を行い、実施工に際しては慎重、細心の施工管理、不具合発生の兆候把握や対策施工に努めた。その結果、試験施工区間の100m間ではあるが、トンネルの変状や地盤沈下もほとんどなく、順調に掘進を行えた。

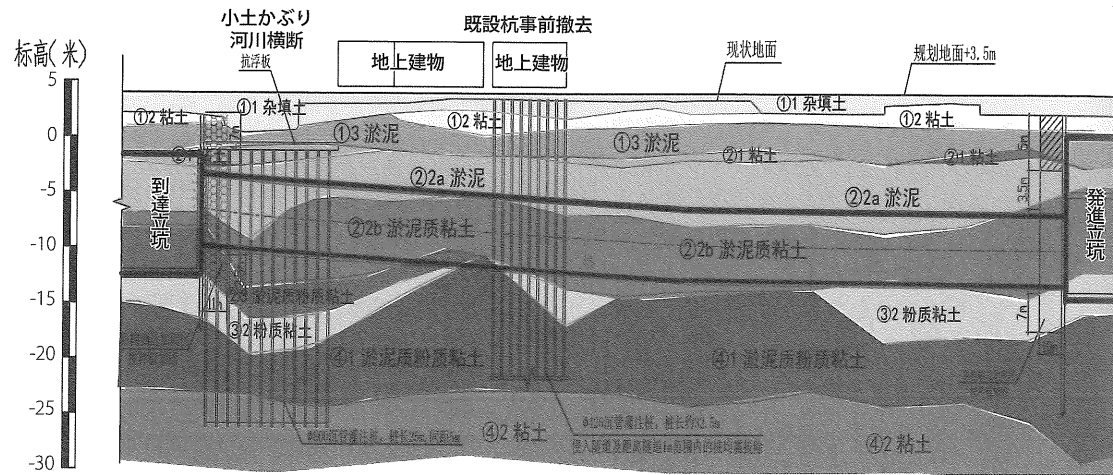
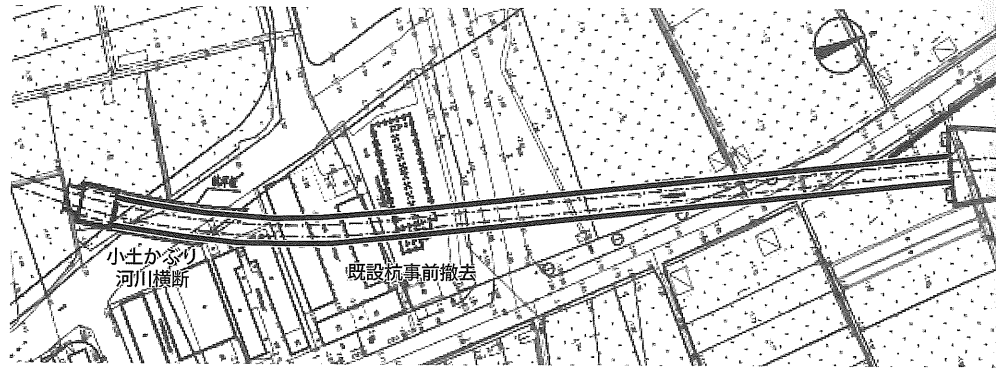


図-1 路線平面・縦断面

2-2-2 地盤条件

主たる掘進対象の②2a層、②2b層(淤泥)に関連した土層は、鋭敏性、流動性が顕著で、土の骨格構造が容易に破壊されやすく、工事への影響があるとみられる軟弱土層である。

本件の掘進対象地盤は、低塑性シルト質粘性土層で液性指数 $I_L \geq 1.0$ であり、シールド掘進による地盤の攪乱によって、泥濘化、強度低下や圧密現象が著しく発生することが予想される(図-2)。

2-3 トンネル断面

トンネル内空断面(10,600mm × 6,037mm)は、地下鉄の建築限界(車両、設備、架線、パンタグラフ)とともに、施工誤差、測量誤差、不等沈下、構造力学的変位などを考慮して決定している(図-3)。

2-4 試験施工概要

2-4-1 目的

都市部地下鉄建設工事にあつては、土かぶりが

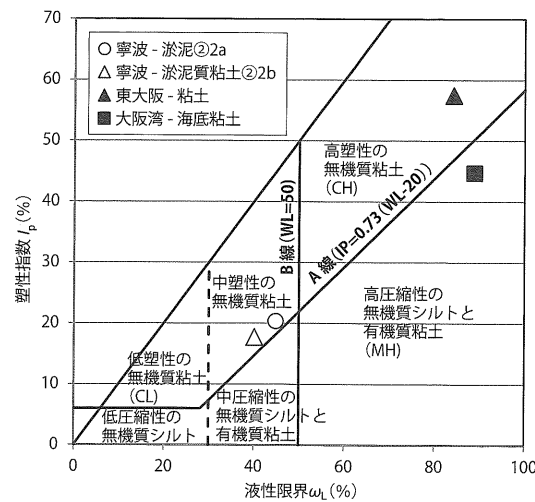


図-2 塑性図

比較的小さく、既存の地上建物や地下構造物が多いため、周辺環境への影響が懸念される。

シールドトンネル掘削による地盤沈下要因には、

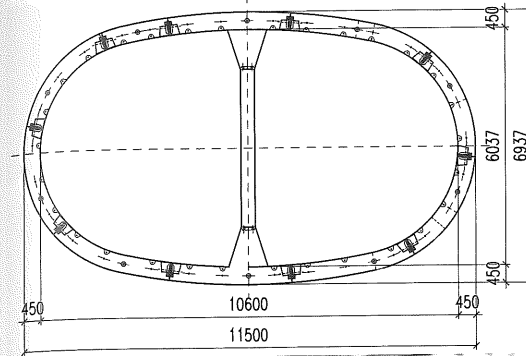


図-3 セグメント形状寸法

切羽圧力、シールドの姿勢やオーバーカットによる余掘り、排土量、裏込め注入圧力・注入量などが複雑に関係する。

さらに、鋭敏粘土中の掘進に際しては、周辺地盤の攪乱に伴う後続沈下が発生し、地表面沈下量が過大となるとともに、トンネル自体の長期沈下や変形が発生する場合がある。したがって、現場計測データにもとづいて、施工中の掘進管理を十分に行うことにより地盤沈下を抑制する必要がある。

今回の試験施工の目的としては、扁平大断面矩形形状シールド工法の実用化に向けて、地盤沈下を抑制しながら、シールドによる安定した掘進とセグメントの組立てが問題なくできるかどうかを確認するために、試験施工を計画した。

2-4-2 検証内容

- ① 発進直後の100mをトライアル掘進の試験施工区間とし、地盤変位計測データにもとづき施工パラメーターを調整、最適化する。
- ② 掘進中はシールドの姿勢、推力、切羽土圧、カッタートルク、スクリーコンベヤ回転数、

裏込め注入圧・量などのマシンのモニタリングデータと地盤変形データの相関性を逐次分析して、最適な掘進管理が行えるよう掘進パラメーターの設定を行う。

- ③ 施工時および長期にトンネル覆工に作用する荷重、軸力、モーメントやトンネル変位を計測、分析し、セグメント設計の妥当性や継手、組立て方法について確認する。

3 矩形形状シールドの製作と掘進結果

3-1 矩形形状シールドの概要

シールドは、2連スポーク+偏心多軸併用カット式の泥土加圧式シールド掘削機で、横長断面の矩形形状(11.83m × 7.27m)である。機長は11.46mで、全断面掘削方式となっている(写真-1)。

3-2 掘削・排土装置

左右2基の主回転スポークカッターに、両方の主カッターでは掘削されない中央部の背後に平行リンク運動が可能な偏心多軸回転方式カッターを併用装備した掘削カッターヘッドとなっている(図-4.5)。日本には実績のない形式である。

主カッターのカッタートルクは、瞬時トルク係数を16としている。日本のDOTより若干小さいが、軟弱地盤における小かぶりのシールドトンネルを掘進するには十分であった。

また、日本のDOTには一般的にコピーカッターが装備されているが、本件では、最小曲率半径250m(計画線形 $R_{min}=400m$)とする中折れ装置を装備しており、本件の軟弱地盤においてはコピーカッターなしで掘進した。

スクリーコンベヤは2基を左右対称に設置し

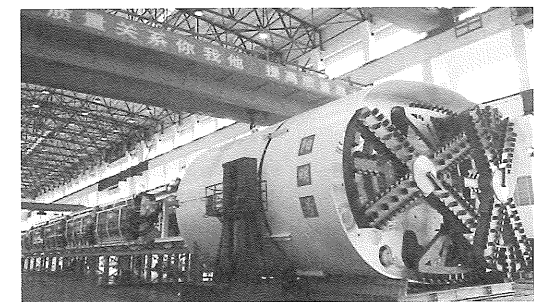
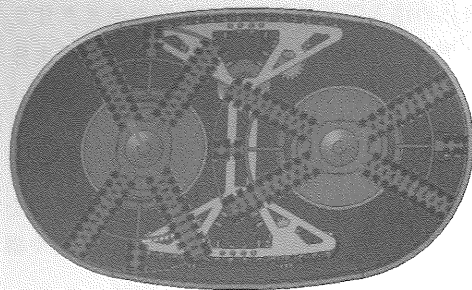


写真-1 シールド全体



主カッタ 2基 (X形スポーク式回転カッタ) トルク 4,448/5,338kNm 回転速度 0~1 rpm 同一平面に位置し、位相差 90°で同調回転する。補助カッタ (偏心多軸駆動式スピンドル形カッタ) トルク 440/480kNm 主カッタの後部に設置される。

図-4 カッタヘッド

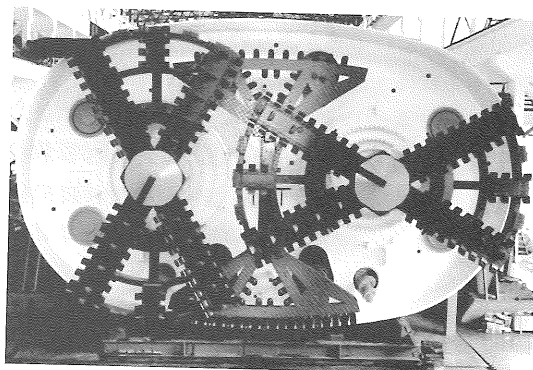
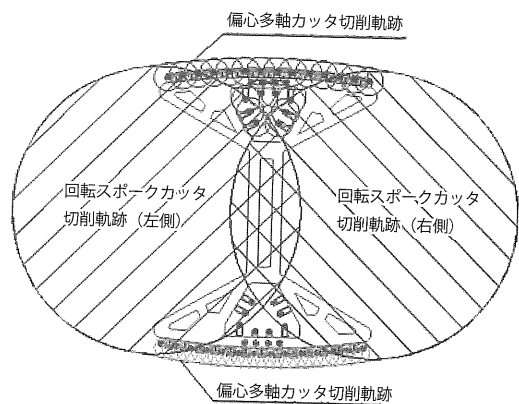


図-5 カッタ掘削軌跡

ている。掘進量と排土量のバランスをとることで、チャンバ内の圧力調整や止水を行った。軸付きタイプを用いることにより、掘削土砂の搬出効果を高めるとともに、止水効果を向上させている。

シールド掘進停止状態におけるチャンバ内土圧の低下を抑制するために土圧保持装置を装備している。バルクヘッドに設置されたシリンダーを

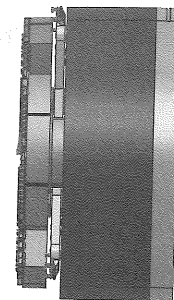


写真-2 排土状況

ジャッキによって伸縮させ、チャンバ容積を変化させることで、土圧の調整、バランス維持の機能を持つ。

3-3 チャンバ内土砂の塑性流動化

カッタヘッドおよびチャンババルクヘッドに注入孔を設置し加泥材を注入、掘削土と攪拌混合しチャンバ内を塑性流動化土で充満させることが重要である。

本件シールドの場合、回転スポークカッタと偏心多軸カッタとの干渉によって、チャンバ攪拌棒の取付け配置が制限され、不攪拌エリアが残存することで、土砂の固着や排土不良が発生することが危惧された。しかし、掘進対象地盤は、非常に鋭敏比の高い海成軟弱粘土であり、切削、掘進による乱れから泥濘化、流動化が生じやすく、カッタスポーク回転数やカッタトルク、スクリーコンベヤ排土量などの管理データにもとづいた無加泥掘進が可能であった。

写真-2に良好な排土状況を示す。

ただし、地盤改良区間などの比較的硬質の地盤が対象となる場合には、掘削土を流動化・排土させるために、加泥注入を実施した。

3-4 ローリング・蛇行修正

非円形断面は、シールドがローリングすることにより、内空断面確保が困難となり、セグメント組立てに支障をきたすことが考えられる。ローリング許容量については、円形よりも非円形の方が厳しく、とくに矩形断面では許容量が著しく小さ

いので、なるべく早い段階で修正操作を行っていくことが必要である。

本件シールドの基本的なローリング修正は、中折れジャッキ操作を基本としているが、機体のローリングを計測、監視し、初期兆候の微小値範囲での修正操作開始を心掛け、早い段階で以下の2方法によりローリングに対処し、良好な効果を上げた(写真-3)。

- ① マシンに錘を置くオモリ^{オモリ}による傾斜修正を行う。
② シールドの前胴底部からの注入材圧力によって調整する。

発進当初に約13/1,000のローリングが生じたが、①と②の対策により図-6に示すように比較的容易に修正が行えた。

シールドのローリング修正に加えて、セグメントリング自体のローリングが課題となった。マシンのコントロールがうまくいっても、セグメントリング自体がローリングを起こすことがある。これは組立て精度の問題で、一度傾き始めるとそれが累積していくため、セグメントの組立て精度をしっかりと確保する施工を行わなければならない。組立て時のセグメントリング継手接合ボ

ルト孔径の余裕代(6mm)を利用して修正する方法が効果的であった。

3-5 エレクタ装置

セグメントの組立てに用いるエレクタは、矩形シールドトンネルにおいては、多様(形状、重量)なセグメントに対応できる必要がある。本件にお

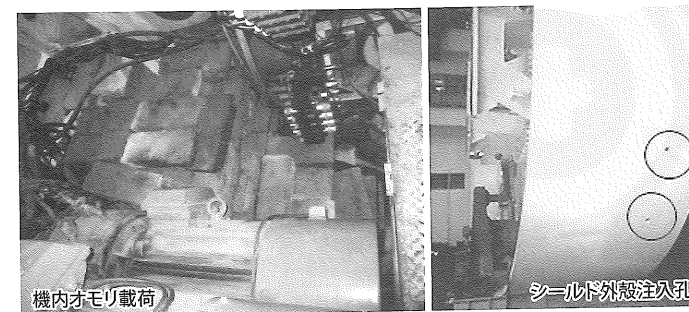


写真-3 ローリング修正

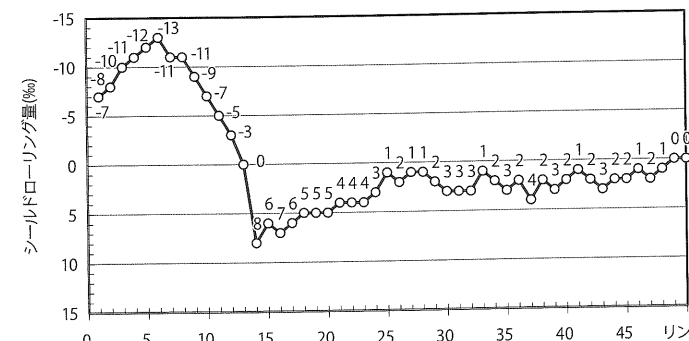


図-6 ローリング量

旋回式リングギア・片アームエレクタ2基(8自由度機能)
旋回・昇降・伸縮・ローリング・ピッチング・ヨーイング・水平移動・2段階昇降(ストローク1,500mm+440mm)
エレクタ主要パラメータ

Table with 3 columns: Component (e.g., 全体, アーム, ヘッド), Parameter (e.g., 速度, トルク, 速度), and Value (e.g., 0~1 rpm, 700kN・m).

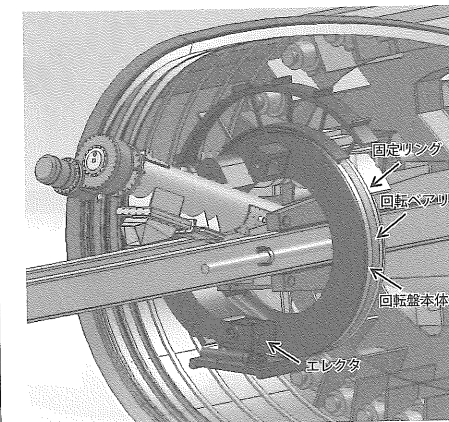


図-7 エレクタ装置

いては、実物大模型実験を実施し、セグメント組立て性能を確認している(図-7)。

セグメントリングの組立ては、Kセグメント挿入前中柱建込み方式を基本とした。セグメント組

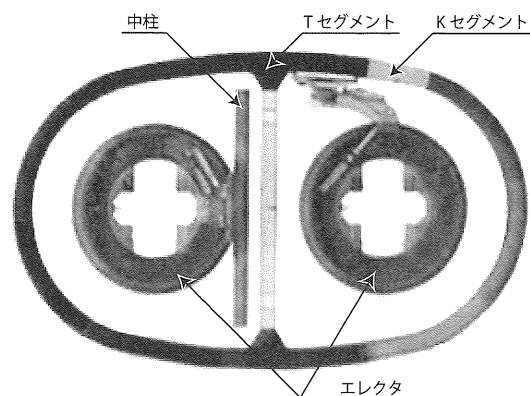


図-8 中柱建込み状況

立て手順において、Kセグメントは中柱建込み後に最終挿入し、外周リングを閉合する。

中柱建込み時のリング押し上げ装置は特別には装備せず、エレクタ2基の連携による組立てを行う。図-8に示すように、中柱を挿入する前に上部Tセグメントをエレクタで把持した(図-9)。

3-6 裏込め注入

軟弱土層部の小土かぶり掘進における地表面沈下発生を抑制するために、テール中心部左右対称に各4か所の自動同時裏込め注入管を設けた(写真-4)。

同時裏込め注入システムについては、テールボイド全周にできるだけ均等圧で早期に充填でき、しかもテールスキンプレートの変形が生じないように、注入材、注入方法、注入位置・個数を決め

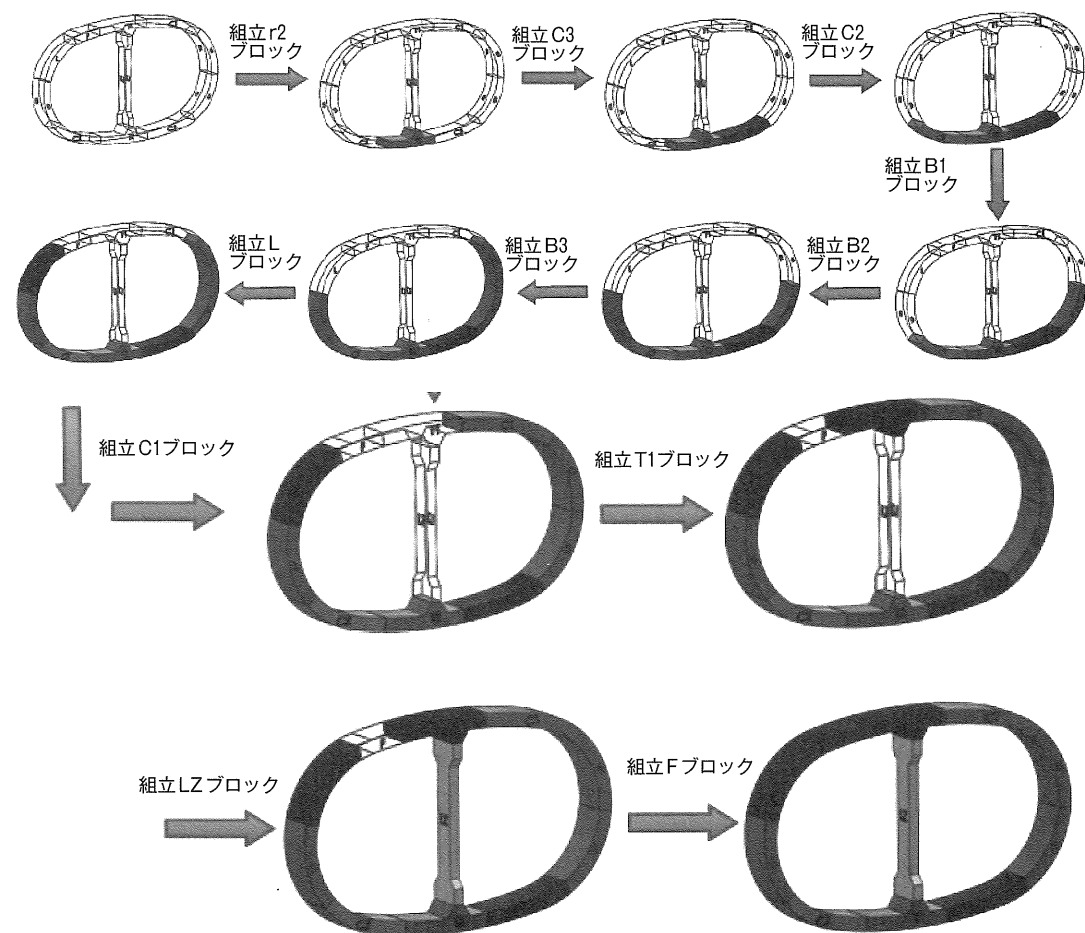


図-9 セグメント組立て順序

た。注入制御は、シールドテール部に取り付けた土圧計の値をフィードバックする注入圧力制御、および掘進速度に同調できる注入量制御を選択できる方式とした。さらに、掘進開始時、一時停止時、終了時あるいは配管洗浄時などのシーケンス制御はシールドジャッキ操作とリンクさせることにより自動化した。

裏込め注入の目的は、シールド掘進時に発生するテールボイドを即座に充填し、地山の変位、崩落を抑制し、セグメントを固定することであり、所要の初期強度が求められる。裏込め材の強度発現が遅い場合、シールド後方のセグメントを地山に固定することができないため、曲線施工時にセグメントの安定が確保できず、方向制御に悪影響を及ぼすことが考えられる。

矩形断面で鋭敏軟弱粘土という条件下では、姿勢制御、沈下防止、均一な圧力分布などを考慮すれば、注入直後から沈下抑制機能を持たせ、またマシンの姿勢制御の反力を得ることができるように、所要の早期強度が発現する注入材が適している。基本的には以下のような性質が求められる。

- すなわち、
- ① 圧送可能な流動性を有すること
- ② 目的とする空隙部分に充填できること
- ③ 裏込め材が硬化するまでに材料分離やブリージングが生じないこと
- ④ 早期に均一で地山相当強度が得られること

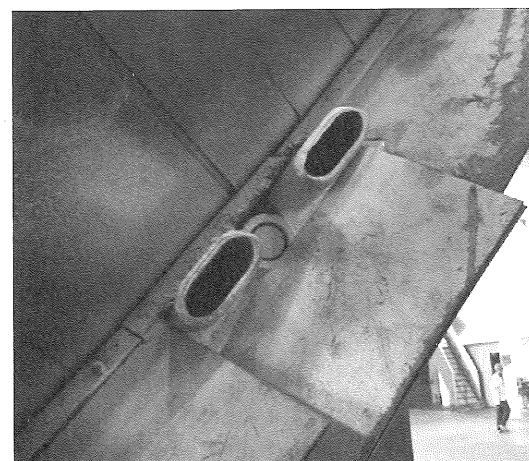


写真-4 同時裏込め注入管

⑤ 硬化後の体積の減少が少ないことである。このため、寧波の高鋭敏軟弱地盤と矩形形状シールド施工の特徴に対して、周辺地盤の強度、性状に適合し、かつ無公害で安価な注入材を目指して、砂、フライアッシュ、消石灰などにある種の植物繊維を加えた配合で、流動性と強度(せん断降伏強度)や所要特性(分離抵抗性や非体積収縮性)を備えた1液性注入材料を開発した。

仕様基準は以下のとおりである。

- ・脱水率 $\leq 5\%$
- ・スランプ12~14cm
- ・20hr降伏強度800Pa
- ・7日圧縮強度0.15MPa
- ・28日圧縮強度1.0MPa

3-7 滑材注入機構(背面注入装置)

矩形形状シールドは背面面積が広く、掘進時に上載土砂を引きずるおそれがある。このため、シールド外殻頂部からベントナイト系の滑材を注入し、泥膜を形成することで地盤との摩擦低減を図り、土砂の引きずり、攪乱を防止した。滑材注入口は上半部だけでなく、全周に配置し、滑材が背面に広く展開し、かつチャンバへの逸走を生じないような配置と形状とした(図-10)。

3-8 テールシール

矩形形状シールドにおけるテールシール技術は、円形シールドのテールシール技術の延長上にあるが、直線部分のテールブラシは、押え付け力(締

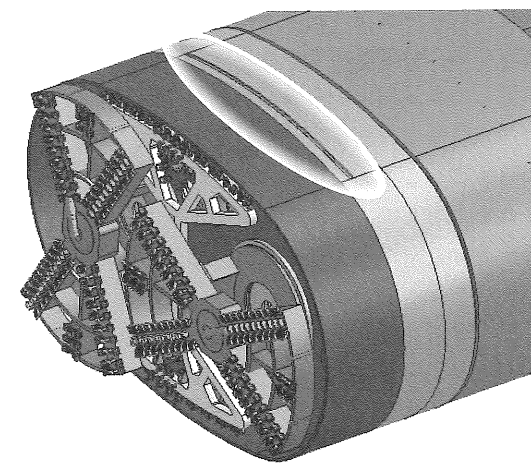


図-10 胴体部土砂引きずり防止装置

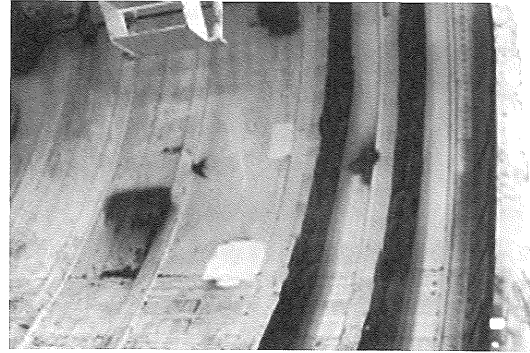


写真-5 テールシールド

付け力)が円形シールドのものに比べて劣り、テールクリアランスの偏りや裏込め材の注入圧によりテールブラシが反転し、シールド目的を達し得ないことになる。このため、3段シールド方式を採用した(写真-5)。

最外1段は鋼板($t = 0.5\text{mm}$, 35層)シールド、内側2段はワイヤブラシシールドである。鋼板シールドは、ブラシシールドより長寿命で信頼性、地盤適用性が高い。

4 セグメント設計

4-1 作用荷重

軟弱地盤中のシールド掘進における姿勢制御は非常な困難を伴うと想定され、本体、継手の設計では、通常より大きな競り荷重が作用する可能性を見込んでおく必要があり、さらに、中柱に関しては、地山からの偏荷重や裏込め注入圧など局部荷重、エレクタ組立て時荷重など不均等な荷重が作用する場合を考慮して、中柱に発生する曲げモーメントやバックリングに留意した余裕を持った設計を行っている(写真-6)。

4-2 解析方法・解析モデル

セグメントリングの構造解析は、自由変形可能な剛性一様リングとして修正慣用法を適用した。周方向継手部分の曲げ剛性低下および千鳥組みの効果による曲げモーメントの分配を考慮し、 η - ξ

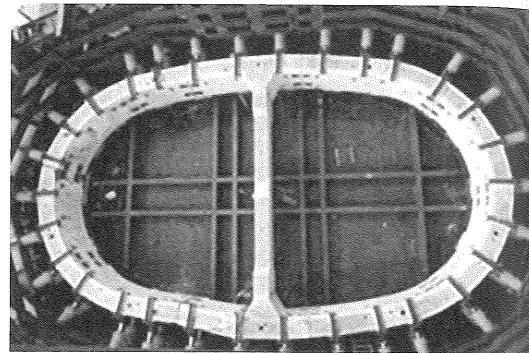


写真-6 リング載荷試験状況

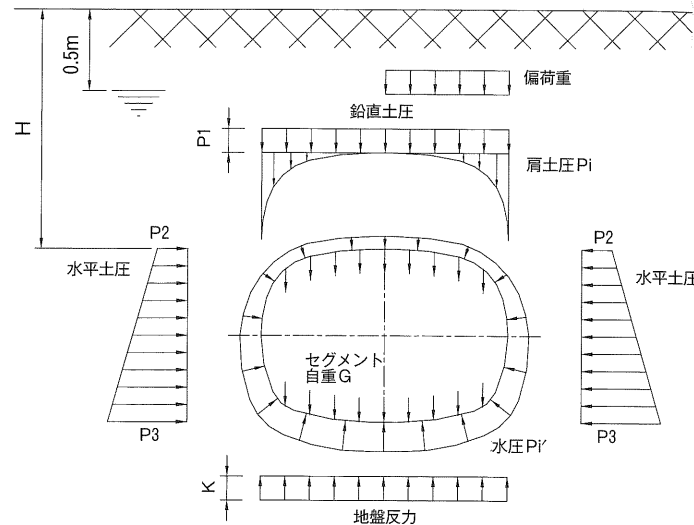


図-11 作用荷重図

表-1 継手形式

ピース間継手	リング間継手
直ボルト	斜めボルト

法を採用し解析を実施している。

- ・リング全体の曲げ剛性： ηEI ($\eta \leq 1$, 曲げ剛性有効率)
 - ・セグメント本体曲げモーメント： $(1 + \xi)M$
 - ・継手曲げモーメント： $(1 - \xi)M$ (M : リング曲げモーメント, ξ : 割増し率)
- 矩形トンネル構造応力解析におけるパラメー

ター選定は、地質・水文条件、土かぶり深さ、構造形式、施工条件(施工時裏込め注入圧も考慮している)、隣接影響などを考慮して適切に行った。

また、本件では修正慣用法以外に、継手、リング載荷試験を実施し、算出した継手剛性率を用いて梁ばねモデルによるチェックを行っている。さらに、耐震設計においても応答変位法や慣性力法、特殊構造では動的解析など、中国の『地下鉄設計基準』に従って実施した。

4-3 継手形式

継手形式は表-1のようである。

- ・ピース間：M36 ボルトナット×4本(ボルト2本/箇所×ダクトイルボックス2か所)
- ・リング間：M30 斜めボルト(埋込みナット)×30本

5 試験施工結果

扁平大断面矩形土圧シールドは2015年12月始めに発進し2016年1月末の約2か月で100m間の試験掘削を無事に終了した。試験掘削の結果は、大きなトラブルもなく、軟弱鋭敏粘性土地盤の小土かぶり条件下にもかかわらず図-12に示すように地表面は最大2cm以内の隆起傾向で、有害な沈下の発生を制御することができた。

掘進リングごとの総推力の変化状況を図-13に示す。地盤改良域を抜けたあとの総推力は20,000kNで、装備能力の約24%であった。なお、このうち切羽土圧に相当する推力は15,000kNである。

切羽チャンバ土圧の掘進リングごとの変化状況を図-14に示す。切羽土圧も安定してほとんど静止側圧200kPaに近い状態を維持している。

深度分布も図-15に示すように直線的で、深度に対する土圧増加の勾配は掘削土の単位体積重量に近似している。最下部の土圧がやや大きい

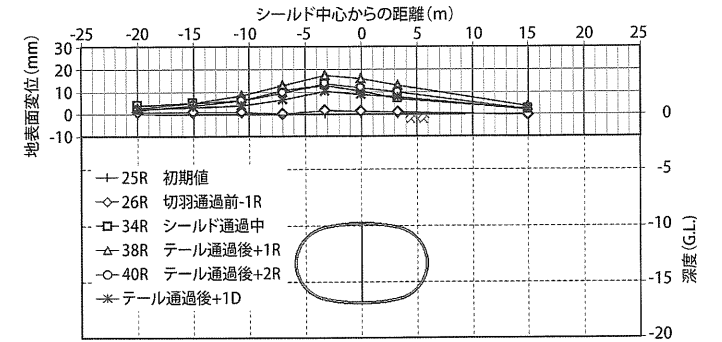


図-12 地表面変位

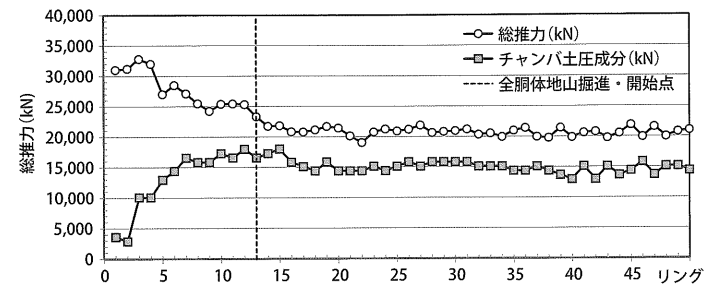


図-13 総推力

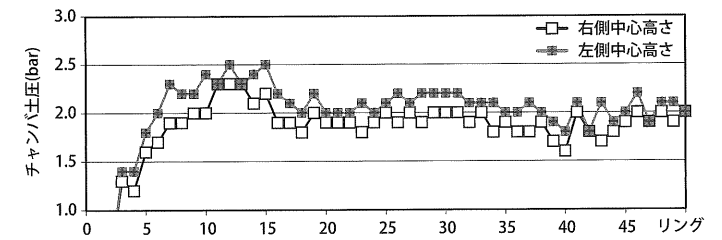


図-14 チャンバ土圧

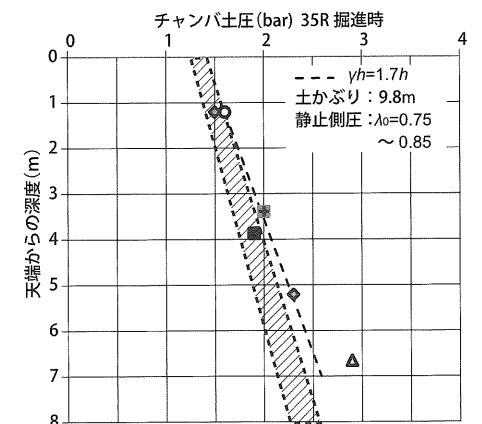


図-15 チャンバ土圧深度方向分

これはチャンバ内の下部掘削土の攪拌・排土状態が若干不良であることによると思われるため、今後、より流動化させるための工夫を必要とする。

裏込め注入量に関しては、全周圧力分布が均一になるように上・下半を6:4の比率で注入し、注入率はおおむね130%（オーバーカット分をも考慮した実注入率で120%）としている。

6 おわりに

近年都市部においては、地上だけでなく地下空間の利用も進んでおり、新たな地下空間利用のためには、従来の円形状トンネルだけでなく、矩形形状などの非円形トンネル技術が重要となる。

ここでは、寧波市地下鉄3号線建設において扁平断面矩形形状土圧シールドを開発し、試験施工を実施した結果、軟弱鋭敏粘性土地盤での小土かぶり条件下において、地盤沈下も少なく順調な掘削を行うことができた。今後、曲率半径350mのカーブ掘進や4号線でのやや硬質な地盤の掘進に向けてシールドや施工法の改良、改善をしていく予定である。

また、今回の鋭敏粘性土地盤中にシールド施工

トンネルと地下

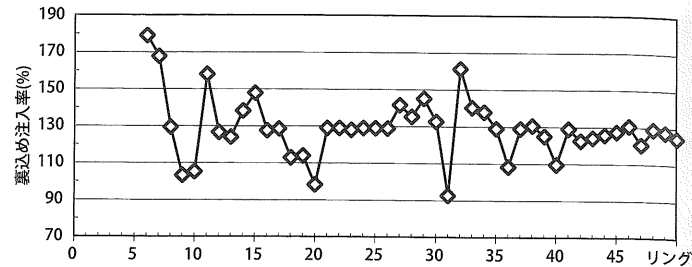


図-16 裏込め注入率

では、地盤の攪乱要因による圧密沈下が長期的に発生する可能性がある。さらに、構築された地下鉄トンネルは、シールド施工時の影響による地盤沈下のほかに、以下に示すような長期的なトンネルの沈下変状が想定される。

- ① 開業後の車両走行振動による地盤沈下
- ② 周辺工事による地盤変形などの近接影響
- ③ 近傍における揚水による地下水位低下に伴う圧密沈下
- ④ セグメントのクラックや目地などからの漏水に伴うトンネルの沈下

従って、鋭敏粘性土地盤でのシールド工事では、より慎重に施工管理を行いながら、高品質のトンネルを建設する必要がある。この試験施工区間においても以上の目的のために長期的な地盤やトンネルの変形を観測していく予定である。

解説

最近の水害想定にもとづく東京メトロの浸水対策

東京地下鉄(株)鉄道本部工務部構造物担当課長 大塚 努
 東京地下鉄(株)鉄道本部工務部土木課課長補佐 保 栖 重 夫
 東京地下鉄(株)鉄道本部工務部土木課事務係 佐々木 孝 太

1 はじめに

東京地下鉄(株)（以下「東京メトロ」という）は、首都圏に全9路線、営業キロ195.1km、179駅（うち地上駅21駅）を保有し、1日684万人に利用いただいている。9路線のうち7路線が他社と相互直通運転を実施しており、これらを含めると532kmの首都圏鉄道ネットワーク基盤を支えている。

東京メトロが保有する土木構造物のうち、トンネルは総延長の約85%、地下駅は158駅と88%を占めており、集中豪雨などによる水害が発生した場合、出入口などからの浸水により利用者の安全確保を脅かす事態、また鉄道施設の水没被害が想定されることから、さまざまな浸水対策に取り組んでいる。

安全確保を目的とする浸水対策は、

- ① 「地下構内に水を入れない」という思想にもとづく物理的なハード対策
- ② 利用者を安全に避難誘導するソフト対策に大別される。

本稿では、これまでに実施してきた浸水対策、また、近年の中央防災会議における大規模水害想定や東京都各自治体の水害想定にもとづく浸水対策の動向について紹介する。

2 東京メトロにおける浸水事例

1993年8月27日には、台風11号の豪雨により

丸ノ内線赤坂見附駅で浸水被害が発生した(写真-1)。これは、銀座線溜池山王駅を建設するため大規模な改良工事を施工していた工事区域からの雨水流入により、駅の軌道部分において水深約158cmの浸水を記録し、丸ノ内線を含む計3路線、

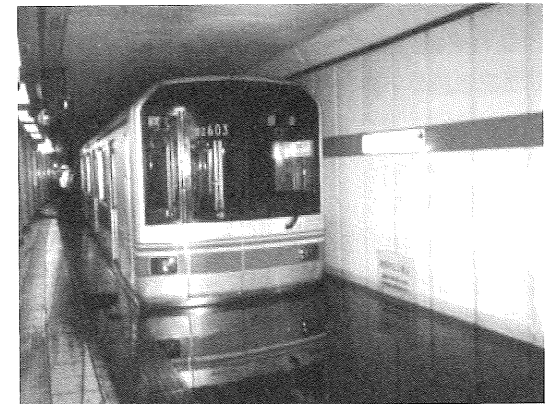


写真-1 赤坂見附駅での浸水



写真-2 溜池山王駅浸水事例



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 円300円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として、過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、同じフォーマットで紹介したものをもとに、新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
 電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

約2,700mに浸水影響が及び、約14時間の運行支障となった。

1999年8月29日には、時間最大雨量114mmという記録的な集中豪雨により、銀座線溜池山王駅で浸水被害が発生した(写真-2)。当該地は周辺に比べて標高の低いエリアであるため周辺の雨水が集まりやすいという条件も浸水発生の要因のひとつであった。

3 これまでに実施してきた浸水対策

東京メトロでは、過去の浸水被害や事例研究にもとづき、各種の浸水対策を実施してきており、以下に実施内容を紹介する。

3-1 止水板

地下鉄駅出入口からの浸水を防ぐ目的として、高台などで浸水のおそれがない箇所を除くすべての駅出入口に止水板(写真-3)を用意している。止水板はアルミ製で、1枚の高さは35cmであり、止水板を写真-3のとおり2段組にして設置することで駅構内への浸水を防ぐ構造となっている。2枚組としている理由は、地下鉄利用者が避難のため通行する場合に止水板を跨ぐことが可能とするためである。

3-2 防水扉

止水板と同様、駅出入口からの浸水を防ぐ目的で、出入口開口部をすべて密閉できるように扉構造としているものである(写真-4)。防水扉は、隅田川以東の低地地域にある駅出入口に設置している。

3-3 防水壁

トンネル坑口(地下から地上へ出てくる区間)は、一般的にU形擁壁構造となっているが、U形擁壁頭部の両側に鉄筋コンクリート製の壁を設置(写真-5)し、外側(線路外)からの浸水を防ぐものである。防水壁天端高さは、東京地域で発生した過去の最大潮位(1917年10月1日の台風)や伊勢湾台風(1959年9月)を教訓に検討された東京都の「高潮対策基本潮位」などを参考に決めている。

3-4 防水ゲート

地下鉄トンネル内への浸水やトンネルを介した



写真-3 駅出入口止水板



写真-4 駅出入口防水扉



写真-5 トンネル坑口防水壁

都心側への浸水を防ぐ目的として、トンネル内および坑口に防水ゲート(写真-6,7)を設置している。とくに、トンネルが河川下を横断する場合は、河川底の崩壊により万一トンネル内に河川水が流入しても堰止められるようトンネル内に防水ゲートを設置することを河川管理者から河川横過条件として付されている。

4 新たな浸水対策

4-1 新たな浸水想定

4-1-1 東京都ハザードマップによる都市型水害

2000年9月の東海豪雨により名古屋都市圏に甚大な浸水被害が発生したことを受け、建設省(現国土交通省)は「都市型水害緊急検討委員会」を設置し、同年11月に「都市型水害対策に対する緊急提言」¹⁾を発表した。

このような状況を踏まえ、東京都でも2001年1月に「東京都都市型水害対策検討会」を設置し、都市型水害に対する施策について、ハード、ソフト両面から総合的に検討を行い、同年11月に最終報告書を取りまとめるとともに、河川区域ごと、あるいは複数の流域をまとめて大雨による浸水予想区域図の作成、公表を進めている。また、これらの浸水予想区域図にもとづき、東京都各区市で洪水ハザードマップの作成、公表を進めている。

一例として、千代田区の洪水ハザードマップを示す(図-2)。マップは、隣接する河川が大雨によって増水し、既存の下水道施設や河川の処理能力を超えて水があふれた場合の浸水予測結果を示しており、住民に対して大雨時に危険な場所(浸水予想区域)、危険の程度(想定浸水深さ)、避難場所などが示されている。

4-1-2 大規模浸水対策(荒川の堤防決壊)

2009年1月、内閣府中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」による、「荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定」²⁾の検討結果が公表された。

その内容は、200年に1度の発生確率の降雨(流域平均雨量約550mm/3日)に伴い北区志茂で荒川堤防が決壊して流量約14,000m³/sの洪水発生を想定する場合、現況程度の浸水対策を前提とすると最終的に首都圏の17路線、97駅、延長約147kmが浸水し、一部地域では、地表を介して到達する洪水よりもトンネルを介して到達する洪水の方が早いと見込まれる結果となっている。また、足立区北千住で荒川堤防が決壊した場合、決壊後約3時間程度で大手町駅が浸水すると見込まれる結果

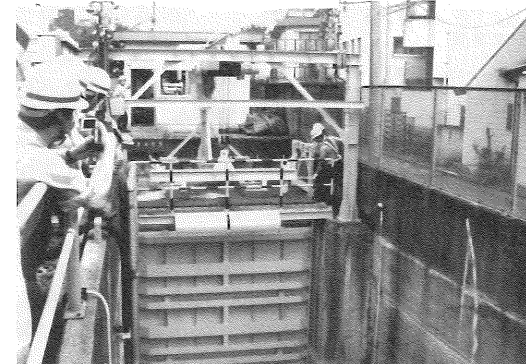


写真-6 坑口防水ゲート

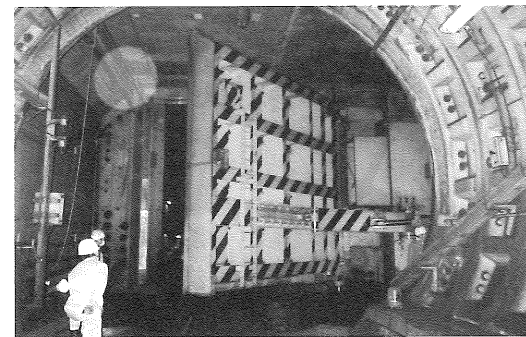


写真-7 トンネル内防水ゲート

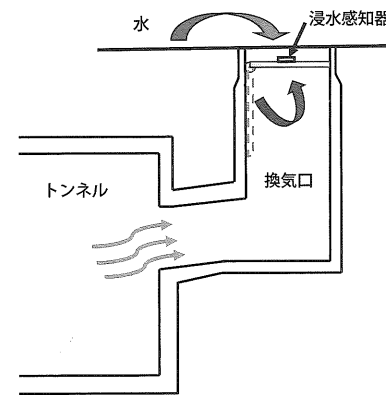


図-1 浸水防止機

3-5 浸水防止機

トンネルに通じる開口として、トンネル内換気のため駅間に設置されている換気口および換気塔がある。このうち、換気口からの浸水を防ぐ目的として、開口を密閉する浸水防止機(図-1)を設置している。浸水防止機は大雨洪水警報の発令により閉扉指令が出され、年間ではそれなりの頻度で閉扉を行っている。

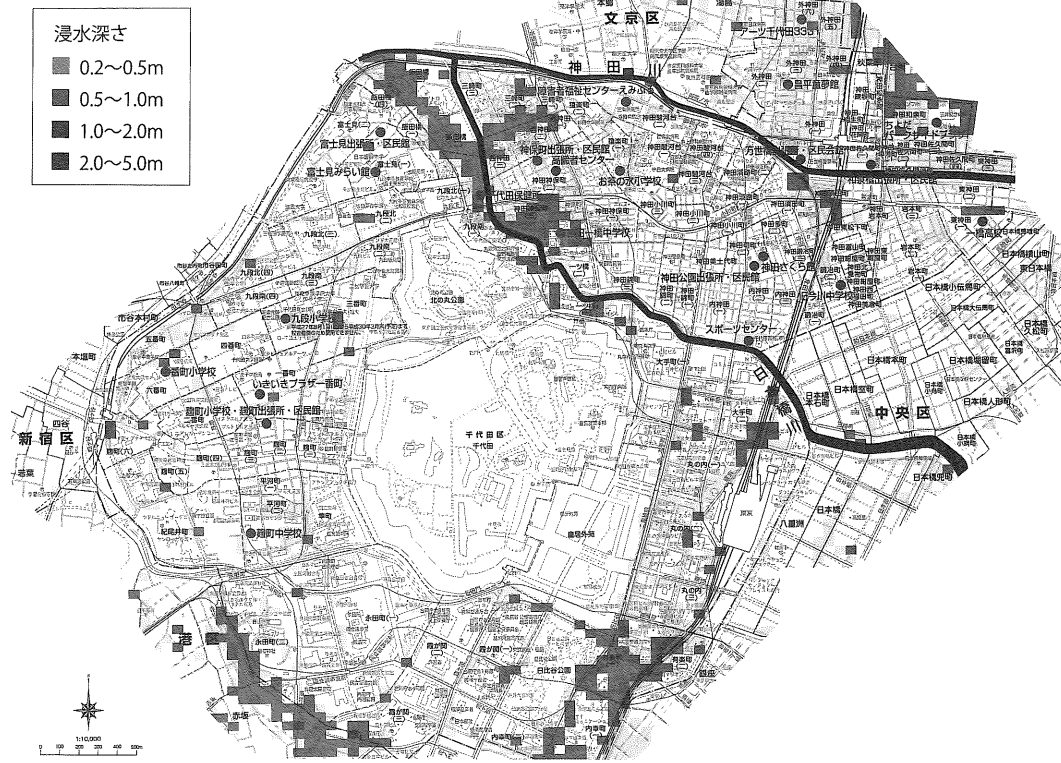


図-2 千代田区洪水ハザードマップ¹⁾



図-3 外水による被害シミュレーション²⁾

となっている。

しかし、地下鉄駅などの出入口やトンネル坑口に浸水対策を実施すれば、完全な止水でなくても大幅に浸水区間を少なくすることが可能であることも確認されている。

一例として、北区志茂で荒川堤防が決壊した場合の24時間後の浸水想定シミュレーションを示す(図-3)。左図は、現況程度の止水対策(駅部出入口の止水板により浸水高1mは防げる)の場合、中央図は、駅部出入口およびトンネル坑口が浸水高2mまで防げると仮定した場合、右図は、駅部出入口がほぼ全断面(出入口部仮想高さ3mに対し、浸水高2.9mまで防げる)塞ぐことができ、かつトンネル坑口は完全に止水できる構造を有すると仮定した場合のシミュレーション結果である。

地上部では浸水高5m以上となる区域もあるが、トンネルに通じる地上開口部をほぼ完全に塞ぐことを仮定した右図では、トンネルへの浸水もほとんどない結果となっている。一方、左図および中央図では、トンネル内も水で満管状態となるという想定結果となっており、地下空間を大規模な浸水から守るための適切な措置を実施することが重要であると言える。

4-1-3 東京メトロにおける浸水被害想定

東京メトロでは、前述の「洪水ハザードマップ」および「荒川堤防決壊時における地下鉄などの浸水被害想定」から得られる浸水予想状況にもとづき、河川氾濫による被害(外水被害)と下水道などの処理能力超過による被害(内水被害)を比較して東京メトロ各路線の駅およびルート上の最大浸水高さを整理している。

4-2 ハード対策の見直し

ハード対策の基本思想である「地下構内に水を入れない」という観点で、前述の最大浸水高さを考慮した浸水対策の再検証を実施し、必要な措置

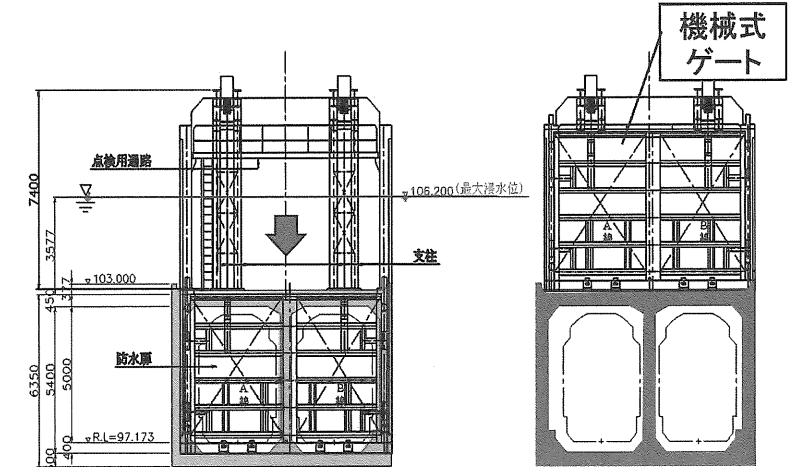


図-4 機械式防水ゲート

の実施を鋭意進めている。以下に実施内容を報告する。

4-2-1 トンネル坑口への措置

東京メトロのトンネル全坑口について再検証した結果、4か所について既存設備では対応できないことが判明し、追加の措置が必要となった。

トンネル坑口への追加措置のひとつとして、防水ゲートの設置があり、坑口からの浸水を完全に遮断することが可能である。防水ゲートには、トンネル上部に格納している防水ゲートを落とし込む機械式防水ゲート(図-4)と、一般的な扉と同様にトンネル側部に格納している防水ゲートを閉扉するスイングゲート(写真-7)がある。防水ゲートを新たに設置するためには既設トンネルの改造を伴うため、各現場の状況を勘案し最適な方式を検討しながら、鋭意措置の実施を進めている。

4-2-2 換気口および換気塔への措置

既述のとおり、換気口については浸水防止機を設置している。この浸水防止機は水深2mの水圧に耐える仕様となっているが、新たな浸水想定による最大浸水高さでは水深2mを超える箇所があり、既設置の浸水防止機では耐荷性能を満足しないことから、新たに水深6mの水圧に耐える仕様ものを開発(写真-8)し、必要箇所への設置および取替えを行った。本対策は2015(平成27)年度で完了している。

換気塔(写真-9)については再検証の結果、一部の既開口位置が最大浸水高さより低いことが判明した。これらに対しては開口位置を最大浸水高さよりも高くするための嵩上げ措置を実施している。

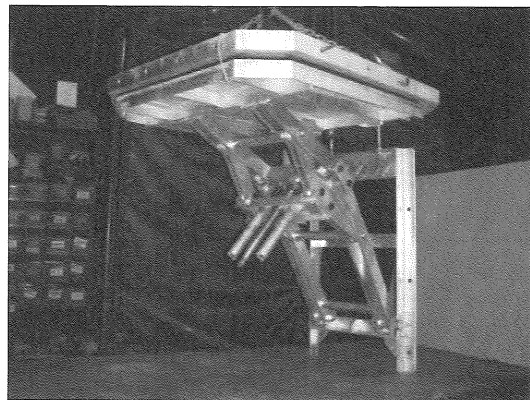


写真-8 6m対応浸水防止機



写真-9 換気塔

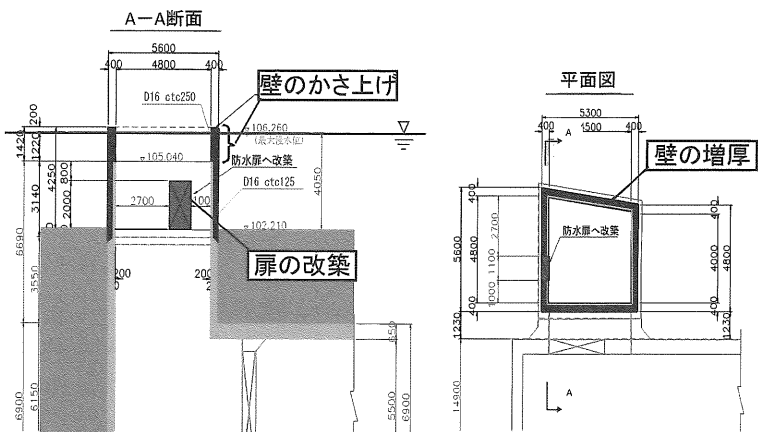


図-5 換気塔対策イメージ

また、最大浸水高の水圧に対する塔部分の耐荷能力についても検証しており、不足する場合は壁増し厚などの補強措置を講じるとともに保守点検時の通用扉についても水密性の高い防水扉への交換措置を講じることとしている。

4-2-3 駅部出入口への措置

駅部出入口の浸水対策は、地上部分での措置の方が設計水圧を低くできること、水が引いたあとの復旧迅速性の確保の観点から、地上部分で措置を講じることが基本としている。地上部分での措置に対しては、

- ① 出入口部の幅員
- ② 既存占用範囲内での対応
- ③ 道路利用者および沿道への配慮

を考慮したうえで、最大浸水高さに応じた措置を講じている。以下に、標準的な考え方を説明する。

最大浸水高さ1.0m程度の場合、図-6に示すように既往の措置である止水板での対策(最大浸水高に対応)とするとともに、迅速対応のための止水板軽量化も行っている。

最大浸水高1.0~1.5m未満の場合、図-7に示すように止水板構造から扉構造(平常時は腰壁部分に防水扉を格納)へ変更するとともに、既設腰壁高では浸水を防げない場合は、視認性を考慮して強化ガラス製防水壁を設置するという措置としている。

最大浸水高さ1.5m以上の場合は、図-8に示すように完全遮蔽タイプの防水扉構造とするとともに、

既設腰壁部分は出入口屋根部まで強化ガラスなどで覆う構造として完全密閉構造とするという措置としている。既設出入口構造物が最大浸水高の水圧に対する耐荷能力を有していれば既設構造物を利用し、耐荷能力を有さない場合は建替えにて対応することとしている。

なお、駅部出入口に防水扉を設置する場合、平常時の防水扉格納スペースが既存占用範囲内

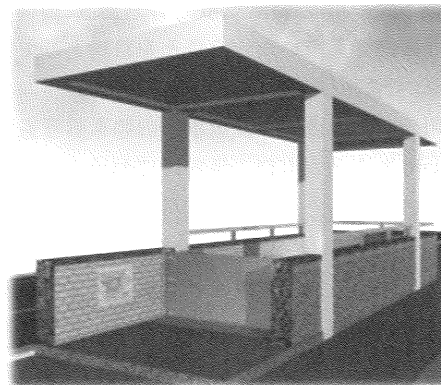


図-6 浸水高さ1.0m程度

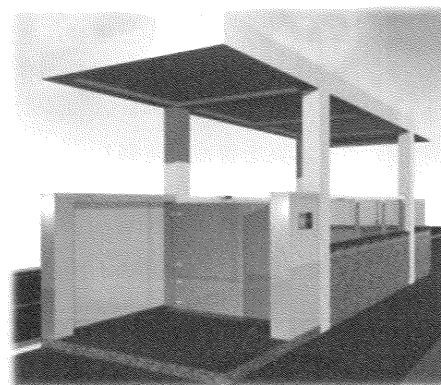


図-7 浸水高さ1.0m以上1.5m未満

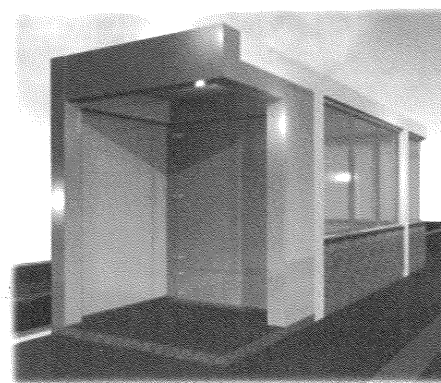


図-8 浸水高さ1.5m以上

に収まらない状況が懸念される。この課題解決のために開発した防水扉について紹介する。

1つ目は横型折戸式防水扉(写真-10)である、耐水圧性能を確保しつつ、折畳み式の構造とすることで平常時の防水扉形状を小さくすることが可能となる。



写真-10 横型折戸式防水扉

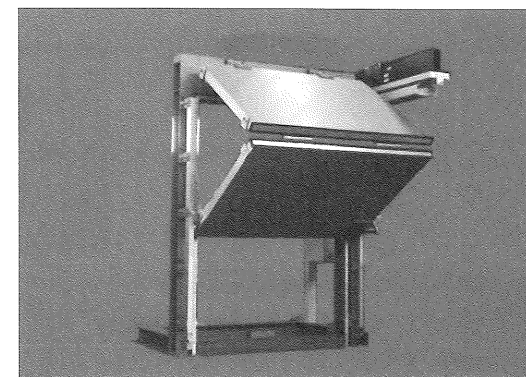


図-9 縦型折戸式防水扉



図-10 縦型折戸式防水扉上屋根格納時

2つ目は縦型折戸式防水扉(図-9, 10)である。折畳み式というアイデアを活用しつつ、防水扉が出入口の管理シャッターも兼ねることができるというものである。格納は屋根部となることから、横型折戸式防水扉と比べ通路部分の更なる開放が可能となる。

折戸式防水扉の開発により、既存占用範囲内での対応の可能性が高まり、駅部出入口への措置実施の促進に大きく寄与できている。

4-3 ソフト対策

4-3-1 海拔表示

近年、全国的に津波浸水などの水害発生時の被害低減の取組みとして海拔値表示を進めているところであるが、東京メトロにおいても駅出入口部に当該地点の海拔値表示(写真-11)を行っている。当該地点の標高を定量的に明示することにより、土地の高低を視覚情報として認識いただくと同時

に、地下鉄利用者に水害発生時の行動について日ごろから意識していただくことを目的としている。

4-3-2 安全ポケットガイド
利用者の安全確保は鉄道事業者のもっとも重要な使命であるとともに、災害時における最大限の安全を確保するためには、利用者の理解や協力が必要不可欠である。東京メトロでは、水害のみならず地震や火災などに対する東京メトロの安全について理解や関心を深めていただくとともに、災害発生時に取っていただきたい行動などについてイラスト入りでわかりやすくまとめた『安全ポケットガイド』(図-11)を作成し配布している。

4-3-3 洪水時の避難確保、浸水防止計画

「水災を警戒、防御し、これによる被害を軽減することで公共の安全を保持する」ことを目的とした水防法にもとづき、利用者の円滑かつ迅速な避難の確保および浸水防止を図

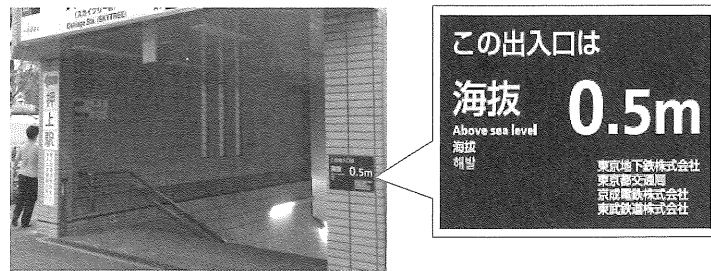


写真-11 海拔表示

安全ポケットガイド

お客様の安全と安心のために

台風・暴風雨のときは

地下鉄なのに強風の影響を受けるの？
東京メトロは地下鉄ですが、9路線中7路線で地上区間があり、また相互乗り入れを行っている他社路線も地上を走っているため、強風の影響を受けます。強風のときは、電車の速度を落としたり運転を見合わせたりして、ダイヤが乱れることがあります。

トンネルをふさぐ防水ゲート
換気口をふさぐ浸水防止扉
出入口をふさぐ止水板
出入口への浸水を防ぐためのかさ上げ防水扉
天井からの漏水やぬれた床にご注意ください
排水ゲート

ワンポイント
気象状況に応じた輸送管理
輸送管理を行う総合指令所では、常に気象情報を収集するとともに、地上部に設置した風速計を監視し、気象状況の変化があればすみやかに運転規制(速度や運転区間の制限)や換気口の浸水防止扉の作動決定などを行います。台風が接近・通過するときなどは、地上区間の運転を長時間見合わせることもあります。ご理解をお願いいたします。

地下は洪水にならないの？
激しい雨のときなどは、駅出入口をふさぐ止水板や防水扉、換気口をふさぐ浸水防止扉、トンネルをふさぐ防水ゲートを使って水の流入を防ぎ、地下が洪水にならないようにしています。なお、通常の雨や地下水は地下にたまりませんが、自動的排水ポンプでくみ上げて、許可を受けた河川や下水などに流しています。

図-11 安全ポケットガイド

るため、「避難確保及び浸水防止計画」を全40駅で作成して東京メトロホームページで公表している。本計画では、防災体制、関係機関との連絡体制、避難誘導経路などについて定めている。

つ大規模なものである。これらの浸水被害想定に対する措置を可能な限り早期に進捗させ、安全で安心な地下鉄運行を提供していく所存である。

参考文献

- 1) 東京都：浸水予想区域図，東京都防災ホームページ，<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/>。
- 2) 内閣府：荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定，大規模水害対策に関する専門調査会(第13回)資料2，防災情報のページ，http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h20/03/news_03.html。
- 3) 大泉政彦・川島新一・小西真治・武藤義彦：東京地下鉄の浸水対策，日中シールド技術交流会，2013。

5 まとめ

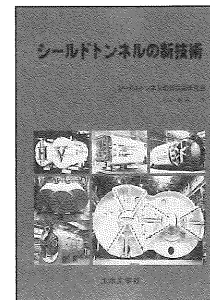
これまで、各路線が建設された時代における高潮や大雨による水害想定を勘案して浸水対策に取り組んできた。近年は、中央防災会議での大規模水害想定や東京都各区市の洪水ハザードマップが公表され、現在はこれらの情報にもとづいて必要な浸水対策を進めている。

浸水被害想定は、これまでの想定以上に広域か

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円350円



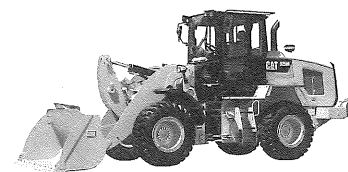
本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

工法・技術・製品ニュース

製品 オフロード法2014年基準をクリアするホイールローダ3機種



CAT® 926Mホイールローダ

キャタピラー・ジャパンは、除雪、土砂積込み、廃棄物処理、生コンなどの現場で高い作業性能を発揮するホイールローダ3機種の発売を開始した。

今回発売されたのは、Cat 926Mホイールローダ(バケット容量: 2.1m³、運転質量: 12,000kg)、Cat 930Mホイールローダ(同 2.5m³、13,050kg)、Cat 938Mホイールローダ(同 3.0m³、15,350kg)の3機種で、それぞれ Cat 924K、Cat 930K、Cat 938Kホイールローダの後継機となる。

同機は、尿素水の化学反応を利用した尿素SCRシステムの採用によ

り、NOx排出量の低減を実現し、オフロード法2014年基準に適合したほか、国土交通省2020年燃費基準100%以上を達成し、大幅な燃料消費量低減を実現している。

また、現場状況や作業などに合わせて生産性重視と燃費重視に切替え可能なパワーモードを採用したほか、大きな開口と弓型サイドバーに特徴があるバケットを標準装備。優れた荷入り性能と荷こぼれ防止を実現することで、生産性の向上に貢献する。ROPS(転倒時運転者保護構造)/FOPS(落下物保護構造)規格に対応したキャブを採用して、高い安全性も確保した。

キャタピラー・ジャパン(株)
GCI Marketing Innovation
TEL. 03-5717-1292
http://www.caterpillar.com/

製品 情報化施工ソリューションの中核となるICT油圧ショベル



日立建機は、同社が提供する情報化施工ソリューションの中核となるICT油圧ショベルZX200X-6を開発した。6月にレンタルによる提供を始め、11月から販売の予定。

同機は、独自の「マシンコントロール機能」と、わかりやすくオペレータをナビゲートする「マシンガイダンス機能」を搭載。GPSやGNSSなどを用いた衛星測位システムと、フロント、車体の角度センサーから算出される機械の位置や姿勢の3次元情報を、施工対象の3次元設計データと照合しながら、フロント作業をリアルタイムで半自動制御することで、施工目標面を掘りすぎ

ることなく効率的な掘削が可能となるとしている。また、バケット角度保持モードでは、法面などの仕上げ作業が、経験の少ないオペレータでも、熟練者なみの生産性と品質を実現できるとしている。これにより、従来の建設現場で行われている丁張りは不要となるほか、検測作業の負担も軽減されることで、工期の大幅な短縮や、建設現場の安全性や生産性の向上が期待される。

また、同機には、小規模な工事や、測位衛星を捕捉できないような建設現場においても情報化施工を導入できるように、2次元仕様も装備され、生産性の向上に貢献する。

日立建機(株)
ブランド・コミュニケーション本部
広報戦略室広報・IR部広報グループ
TEL. 03-5826-8152
http://www.hitachi-kenki.co.jp/

続きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体価格 1,200円(¥210円)



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

連載講座

トンネル新技術への挑戦(7)

—硬岩トンネル掘削機TM-100—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

近年、国内のトンネル工事においては、自然環境の保全や近隣住民の生活環境意識への配慮などから、より環境への負荷を少なくすることが求められる。そのような状況の変化に伴い、従来は可能であった火薬による発破掘削や大型ブレイカによる打撃破碎掘削が制限されている。そこで、国内のトンネル掘削機メーカーと共同で新たな硬岩トンネル掘削機TM-100(以下「TM-100」)を開発、製作したので紹介する(写真-1)。

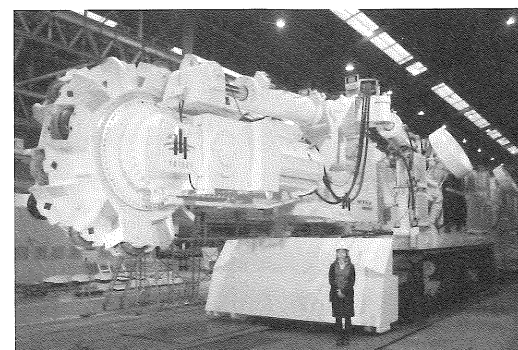


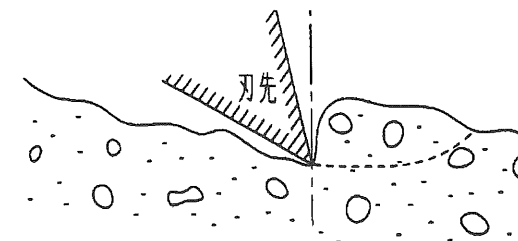
写真-1 工場完成したTM-100

② 開発の背景

近年、都市部や住宅地に近接した地域でのトンネル工事が多くなり、周辺的生活環境への配慮が必要になっている。また重要構造物など施設の保全、安全の要求から発破掘削が制限され、騒音、振動を抑えた施工が求められている。

一方、国内の現状の無発破工法技術は、大型ブレイカやブーム型トンネル掘削機による機械掘削、あるいは割岩機や薬剤による割岩工法のみを選択肢しかない。

写真-2に示すロードヘッド(三井三池製作所製)に代表されるブーム型トンネル掘削機は、ピックと呼ばれるビットをらせん状に配置したドラムを回転させながら岩盤に押し付け、切削(図-1)により掘削するものであり硬岩には適さない。大型ブレイカによる打撃破碎掘削も、硬岩になればチゼ

写真-2 国内最大級のブーム型トンネル掘削機(ロードヘッドSLB-350S)¹⁾図-1 切削原理²⁾

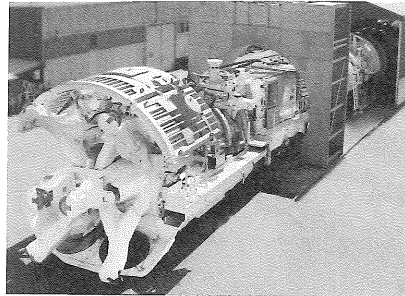


写真-3 海外メーカーが製作したディスクカッタによる掘削機

ル(のみ)の摩耗, 機械の損傷が激しく使えない。なお, 打撃破砕による発生衝撃音, 振動は発破とは異なり, 連続的な騒音や振動を与えるため, 近隣住民に発破以上に不快感を与えるケースが多くなっている。

一方で海外では, 鉱山を中心にディスクカッタを使用した掘削機が各種実用化されている。一例を写真-3に示す。

また, 20年以上以前であるが日本においても, オーストラリアの鉱山で使用されていたモービルマイナーをもとに, 自由断面を掘削できるようにした硬岩自由断面掘削機 MM130R (以下「MM130R」)を海外のトンネル掘削機メーカーが製作し, 導入した。

しかしながら, 掘削自体は想定どおりの性能を発揮したが, 組立て・解体や施工時の機動性に問題があり, 結局一工事での適用で終わった。

近年, 重要な社会インフラの近接や住宅地内を貫く硬岩部のトンネルが増加している中, 効率的に硬岩部の掘削を可能にする機械掘削の要求があり, 硬岩トンネル掘削機の開発を目指すことになった。いくつかの概念が出され, まず硬岩掘削を可能にするためにディスクカッタによる掘削機のイメージができ, 次に圧砕(図-2)方式か, アンダーカッティング(図-3)方式かを含めた検討を実施した。その結果, 硬岩に対する掘削能力, 自由断面への適応性を考慮し, TBMやMM130Rと同様な圧砕方式の掘削機に至った。なお, 以前のMM130Rで問題になった組立て・解体期間の長期化や移動セットの難しさを改善すべく, 構造の

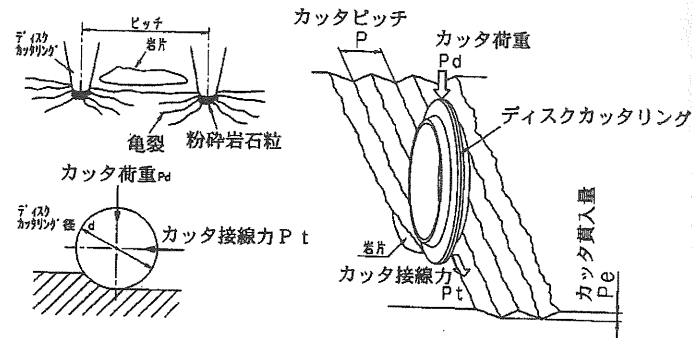


図-2 圧砕原理

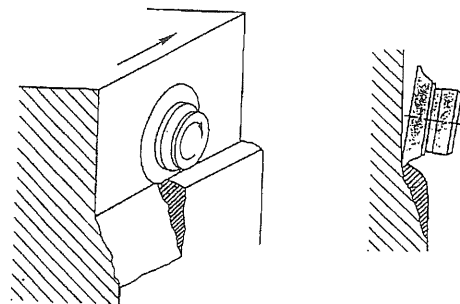


図-3 アンダーカッティング原理

簡素化, ブロック化を図り, 組立て・解体期間の短縮化, 最近, 技術革新の目覚ましい測量・計測技術を採用することにより移動, セットの容易化を図った。また, 近年の人員不足も考慮し, 移動セット後は, すべての運転の自動化を図った。

③ 開発の経緯

2013(平成25)年4月から概念設計に着手した。目標は, 小型軽量で硬岩を自由断面に掘削できる掘削機の開発であり, 各種アイデアが発案されたが, 結局大きくは以前開発したMM130Rと同様な掘削原理で, より掘削に特化し, 容易に移動, セットが可能であり, メンテナンス性の高い機械を国内メーカーと共同開発することに至った。

2014(平成26)年3月に, (株)三井三池製作所の大牟田工場において, 機械の製作を開始した。

2014(平成26)年10月には先行して製作したカッタホイールとブームを使って, 一軸圧縮強度110MPaの模擬岩盤を掘削する要素試験を実施した。この試験により, 最適なカッタの貫入量やブームのスイング速度を検証し, 最適運転に必要な

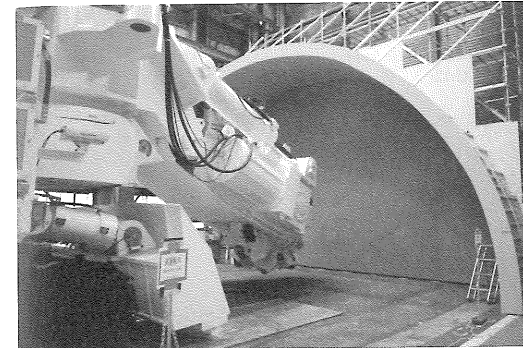


写真-4 工場内自動運転システム確認試験状況

な動的性能を明らかにするとともに, 反力(支持架台の応力や振動)を測定することにより, ブームを支持する本体側の設計・製作に反映させた。

2015(平成27)年2月には本体が完成し, 写真-4に示すような模擬トンネルを製作して, 自動制御の工場内試験を実施した。当初はブームの制御が不十分で, 実用に耐えるものではなかったが, 各種調整, 制御方法の変更により滑らかなブームの動きを実現し, 現場での施工に使用できることを確認した。

④ 技術の概要

4-1 特徴

開発したTM-100は, 以下の特徴を持つ。

- ① ディスクカッタによる圧砕で, 一軸圧縮強度 $\sigma = 100\text{MPa}$ 超の硬岩を自由な断面形状で掘削できる。
- ② 常に切羽形状を球面状に維持し, 切羽の安定化を図れる。
- ③ 位置・姿勢計測システムと自動運転システムを連動し, 設計断面プロファイルを自動運転により掘削できる。
- ④ 余掘りを最小限に抑えられる。
- ⑤ 自動運転により, 掘削中の省力化, 効率化を図れる。
- ⑥ カッタをディスクからピックに変えることにより, 軟岩域の掘削も可能である。

4-2 構造

基本構造, 掘削原理は, 8個の15.5inディスクカッタを取り付けた直径2.7mのカッタホイール

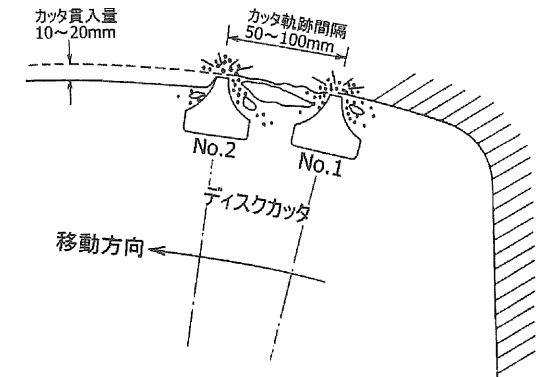


図-4 TM-100の掘削原理

を縦回転させながら, 横移動(スイング)することにより, 切羽岩盤をTBMと同様に圧砕する。図-4に掘削の原理を示す。カッタホイールは上下動するピッチングブームに支持され, ピッチングブームは左右動するスイングブームに支持されている。スイングブームはメインビームの先端に取り付けられており, メインビームはスラストシリンダで前進することができる。つまり, カッタホイールは回転しながらピッチングブームで上下動, スイングブームで左右動, メインビームで前進することができる。

なお, カッタホイールには, 8個のフェイスカッタ以外に, 左右斜め方向に各4個のゲージカッタを配置して側壁面を掘削できるようにしている。

掘削中, 本体前方のドーザと後方のアウトリガ2基により下方の地盤に機体質量の80%の力で張出し, 上方には前後左右4本のグリッパでトンネル天端面に張出すことで, 硬岩掘削による反力に抵抗できるように確実に本体を固定する。

一見, オープン型TBMのカッタホイールを縦方向に配置したものとも言える。

所定の掘進長(例えば1.0m)あるいはずりの処理が必要な場合は, 前記のグリッパ, ドーザ, アウトリガを収納し, クローラで後方に移動, 退避する。ずり処理などを行ったあと再度移動, セットして掘削を再開する。

4-3 全体図仕様

TM-100の全体組立て図を図-5に示す。

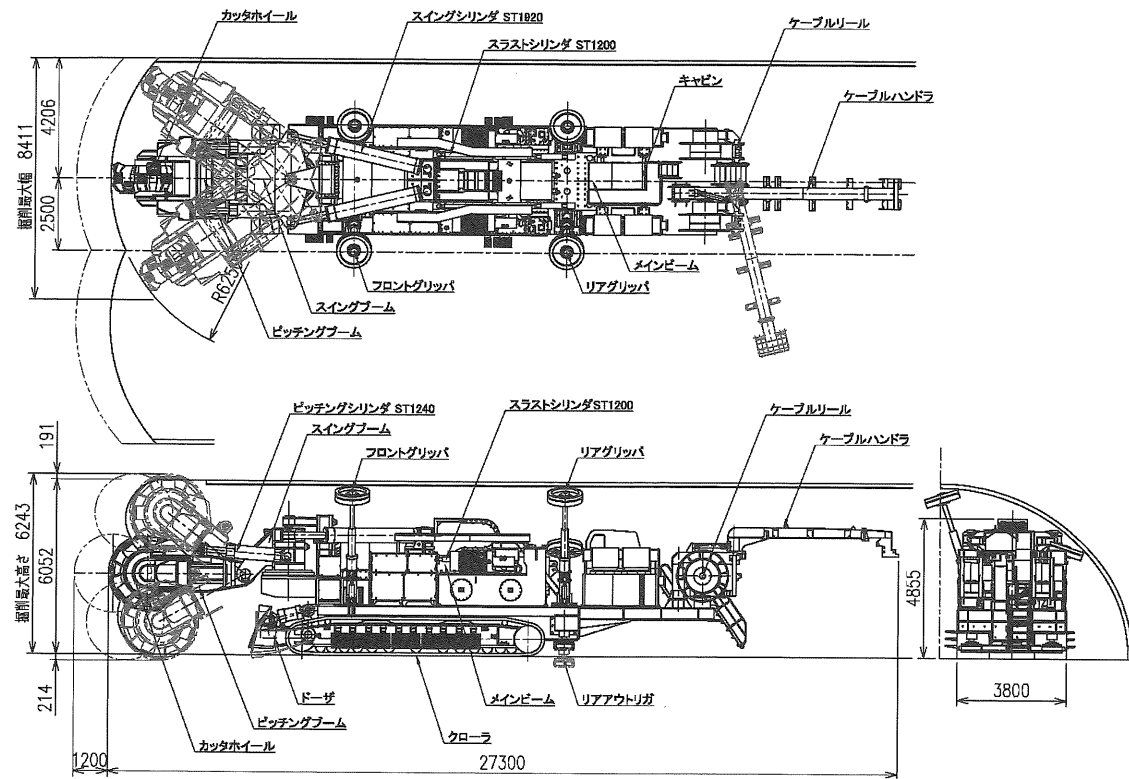


図-5 TM-100全体組立て図

表-1 TM-100主要仕様

項目	TM-100仕様
寸法(全長×全幅×全高)	28.5m×3.8m×4.8m
カッタホイール径	2.7m
全総質量	約280t
スラスト量	1.2m
カッタホイール電動機	225/150kW 4/6P 2台(水冷) 1,000/1,100V-50/60Hz
カッタホイール形状	ディスクカッタ型とピック型を 交換可能
カッタホイール回転数	22.3/14.9min ⁻¹ 4/6P
カッタ周速	3.2/2.1m/s 4/6P
カッタ数量	15.5inディスクカッタ 8個 +ゲージカッタ 左右各4個 または丸ピック174個
クローラ(幅×長さ)	1.12m×7.86m(片側)
接地圧	0.17MPa(1.7kg/cm ²)
走行速度(低速)	2.7/3.2m/min-50/60Hz
ク (高速)	5.0/6.0m/min-50/60Hz
油圧用電動機	225kW 4P 2台(空冷) 1,000/1,100V-50/60Hz

4-4 仕様

TM-100のおもな仕様を表-1に示す。

4-5 能力

掘削能力については、製作工場内で掘削の要素試験を実施したので、その結果を説明する。

試験は、掘削反力に耐える質量のベースコンクリートとブームを支持する仮設架台を製作し、それに先行して製作したカッタホイール、ブームを取り付け、掘削対象は一軸圧縮強度110MPaの中国産の花崗岩を、コンクリート内に埋め込み模擬岩盤とし、カッタの貫入量、カッタホイールの移動速度をそれぞれ変化させ掘削を実施した(写真-5)。掘削能力に関する試験結果を表-2に示す。

試験の結果、一軸圧縮強度100MPa超の硬岩を、おおむね15m³/hの能力で掘削できることを確認した。

写真-6に、掘削で発生した花崗岩のずりの岩片を示すが、圧砕の掘削原理にあって、細長い平板状になっている。

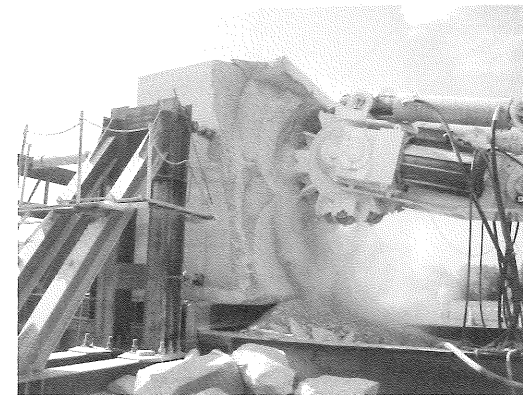


写真-5 掘削要素試験状況



写真-6 掘削要素試験で発生したずりの岩片

表-2 σ=110MPaの花崗岩の掘削要素試験結果

カッタホイール移動速度(m/min)	カッタ軌跡間隔(mm)	貫入量(mm)	掘削時間(s)	掘削量(m ³)	純掘削能力(m ³ /h)
9.35	52.4	6	24	0.0426	6.40
		9	24	0.0604	9.59
		13	24	0.0924	13.86
12.47	69.9	6	18	0.0426	8.53
		9	18	0.0640	12.79
		13	18	0.0924	18.48
14.96	83.9	6	15	0.0426	10.23
		9	15	0.0640	15.35
		13	15	0.0924	22.17

掘削高さ 1.9m(実測)
掘削幅 3.74m(実測)
掘削量(m³)=掘削高さ×掘削幅×貫入量(mm)/1,000
純掘削能力(m³/h)=掘削量×3,600/掘削時間(s)

4-6 位置・姿勢計測システム

掘削に際し、まずはTM-100本体を掘削開始位置に移動する必要がある。目視による誘導には限界があるため、ここでは自動追尾型のトータルステーションにより、機械の位置を把握し、オペレータの操作で、目標点に移動するようにした。

具体的には、トンネル内の任意の位置にトータルステーション2台を設置し、既知の2点から測量機の位置、方位を自覚し、機械本体に搭載された2台のターゲットを自動追尾することにより、TM-100本体位置と方位を把握し、本体に搭載された傾斜計とスラストシリンダのストロークから

姿勢を演算、ブーム旋回中心を求めるとした(図-6)。

オペレータは、運転席のディスプレイに表示されるブーム旋回中心と掘削開始目標位置、方向、離れの情報から、ジョイスティックで左右のクローラを操作して、機械本体のブーム旋回中心を目標点近くに移動する(図-7)。機械側では、前回掘削を終了した時点で、切羽の位置情報を保持し、それに合わせて最終的な微調整をスラストシリンダの伸縮により行う。この結果、掘削開始時に、カッタの過度な貫入もなく、空振りもなくすることができる。

4-7 自動運転システム

TM-100は、位置・姿勢計測システムで掘削開始位置にセットできた段階で、自動運転開始ボタンを押すだけで掘削を開始する。機械本体の位置、姿勢、カッタ位置は常に位置・姿勢計測システムと各シリンダに内蔵したストローク計により計測・演算し、あらかじめ設定された断面形状に沿ってブームを移動コントロールする。所定のブーム運動により1貫入量分(通常は10~20mm程度)の掘削を完了し、スラストシリンダで次の貫入を行い、同じブーム運動をくり返す。所定の掘進長あるいはずりがドーザの前に堆積し、掘削の継続が困難になった時点で(0.5~1.0mを想定)、掘進を停止し、機械本体を後退させる。

ディスクカッタによる圧砕掘削においては、カッタの貫入量と軌跡間隔を決定するスイング

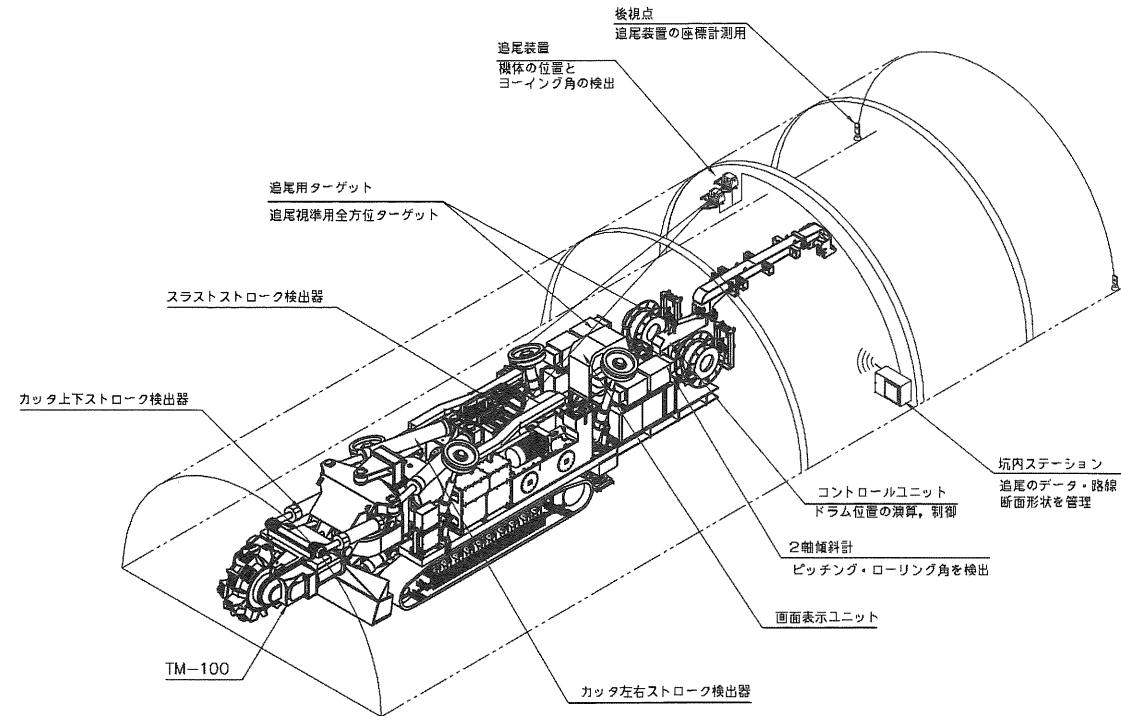


図-6 位置・姿勢計測システムの概要

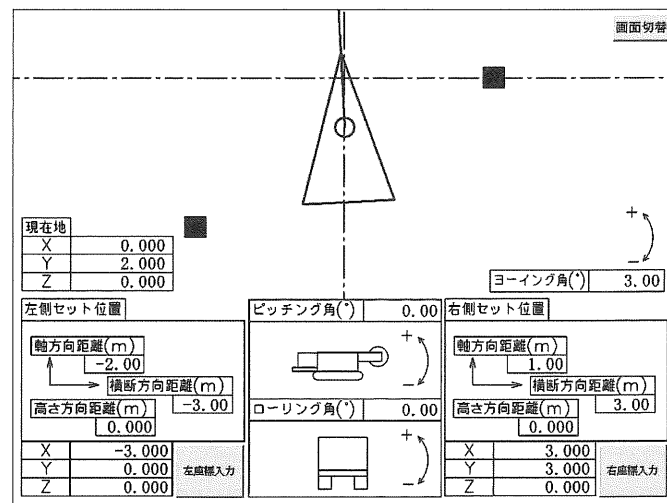


図-7 位置・姿勢計測システム表示画面

ブームの移動速度の制御が重要になる。つまり、貫入量が大きすぎるとカッタの許容荷重を超え、ディスクカッタの破損、最悪ブームなどの本体側にも損傷を与えることになる。また、軌跡間隔が大きすぎると軌跡間に未掘削部分が発生してしまう。逆に貫入量や軌跡間隔が小さすぎると無駄な

動きのため、掘削能力の低下、エネルギーロス、カッタの過剰な消耗が発生することになる。

現時点では、オペレータが掘削中のカッタモータの電流値をみて、適切な貫入量とカッタ軌跡間隔(ブーム移動速度)を設定しながら運用する。将来的には、これも自動的に適切な値を設定できるようにする予定である。

5 トンネル工事への適用

5-1 導入・組立て

2015(平成27)年3月に新名神高速道路川西トンネル工事に導入が決まり、組立てに着手した。

組立ては、その時点で進められていた制御発破による掘削を阻害しないように坑外で実施することになり、民家にも近いことから8:30~17:00の時間帯での作業になったが、試運転も含め14日間で完成した。写真-7は、メインビームを120t

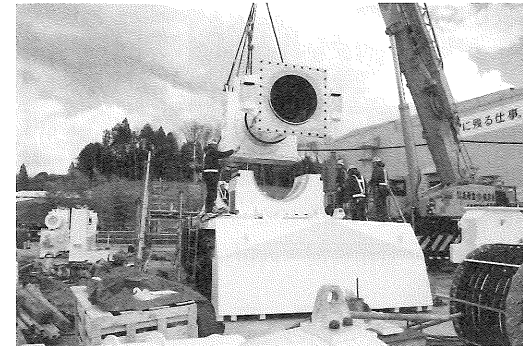


写真-7 TM-100組立て状況

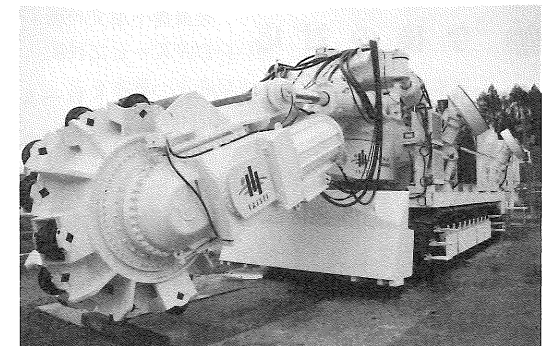


写真-8 TM-100組立て完了状況

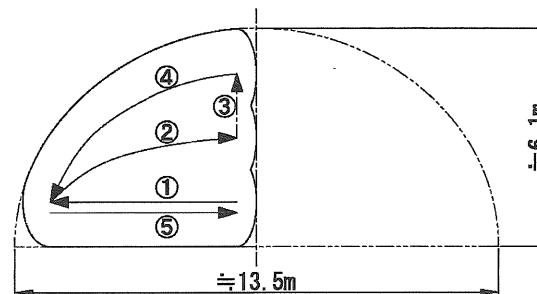


写真-9 掘削状況(切羽面)



写真-10 掘削状況(掘削機と集塵機をセット)

二次掘削(左側)



一次掘削(右側)

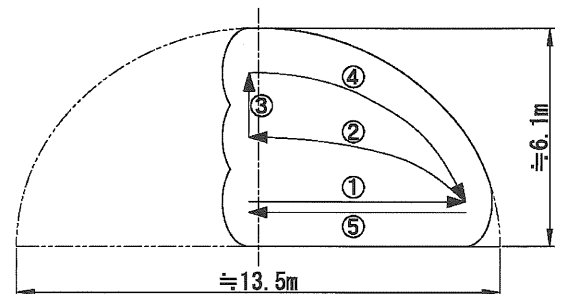


図-8 カッタホイールの動き

吊りオールテレーンクレーンで組立て中のものである。写真-8は組立てを完了した時点のものである。

5-2 運転

2015(平成27)年5月から実際にトンネル掘削を開始、一部不具合やトラブルが発生したが、改善した結果、実用の域に達した(写真-9,10)。ただし、環境上発破掘削が許される区間においては、進捗を考慮すると発破掘削の方が、進捗が勝るた

め、一時休止することになった。

その後、トンネルの起点側(施工終点側)の区間で、一軸圧縮強度100MPa超の砂岩域が出現し、国道に近接するため発破が制限され、本機による掘削を実施、2016年4月に無事貫通することができた。

なお、本トンネルのように幅員が8mを超える場合、左右に分割して掘削することになる。ブームの動きの一例を図-8に示す。

⑥ 今後の対応

今回、自動運転システムのブームコントロールは、2車線道路トンネルを想定した断面に合わせたプログラム構成で始めたが、今後各種トンネルへ導入するにあたり、ユーザ側で容易にブームの動きを入力できるように座標入力、移動速度の設定を可能にする予定である。また、掘削中の本体の微妙な動きにも対応できるようにブームコントロールや、岩盤の強度に合わせた最適カット貫入量、スイングブーム移動速度の制御も搭載予定である。

⑦ おわりに

本開発機械 TM-100 は、従来不可能であった 100MPa 超の硬岩を、ディスクカッタによる圧破で掘削可能にしたものである。自由断面で掘削できるディスクカッタ型硬岩掘削機としては世界で初めての実用機と言える。今後、硬岩で発破掘削

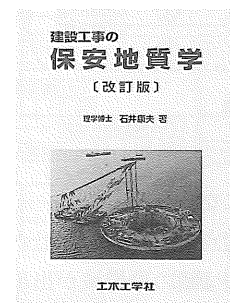
方式が採用できない場合に大きなツールとなることが期待される。

また、トンネル工事の省力化、労働環境の改善、安全性の向上などの要求から、トンネル工事中機械の自動運転技術は今後欠かせない技術であり、本開発機械がその 1 歩になったと考える。

(文責：若山真則・内田正孝/大成建設(株))

参考文献

- 1) (株)三井三池製作所：ロードヘッダ SLB-350S カタログ。http://www.mitsumiike.co.jp/product/excavator/rh/index.html
- 2) Aker Wirth GmbH：Wirth Mobile Tunnel Miner カタログ。http://www.infomine.com/suppliers/PublicDoc/AkerWirth/Mobile_Tunnel_Miner_en.pdf
- 3) 日本建設機械化協会・建設機械化研究所((現)日本建設機械施工協会・施工技術総合研究所)：硬岩トンネル自由断面掘削機(MM130R)性能確認試験報告書, 1996.12.
- 4) 日本トンネル技術協会：TBM ハンドブック, 2000.2.



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学

[改訂版]

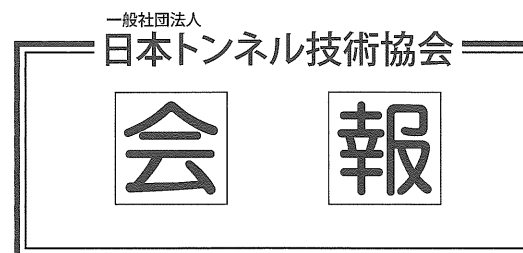
理学博士 石井康夫 著

A 5 判 上製本 475 頁 本体価格 6,300 円 円 350 円

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。

株式会社 **土木工学社**

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072



1. 会員の現状

	4月30日現在
個人会員	914名
団体会員	204名
推薦会員	207名
特別会員	8名
名誉会員	4名
賛助会員	200名
合計	1,537名

2. 委員会の開催状況(4月1日~30日)

①運営広報委員会関係

- ◎総務委員会
 - ・総務委員会(4/27)
 - 服部修一委員長ほか12名、理事会資料を検討
 - ・広報小委員会
 - 会誌WG(4/7)
 - 小山幸則主査ほか13名、5月号の会誌と3か月計画を検討
- ◎事業委員会
 - ・事業委員会(4/21)
 - 桑原彌介委員長ほか13名、催物開催報告および活動計画を検討
- ◎国際委員会
 - ・国際委員会
 - ITA 統括WG(4/5)
 - 砂金伸治主査ほか14名、ITA、WTC2016対応の検討

- ・海外文献小委員会
 - 海外ニュースWG(4/19)
 - 佐々木養一主査ほか7名、海外文献の査読
 - 計 5回開催 64名出席

②調査研究委員会関係

- ◎技術委員会
 - ・山岳工法小委員会
 - 支保WG(4/26)
 - 丸山修主査ほか18名、シンポジウム報告原稿ほかを検討
 - ・都市トンネル小委員会打合せ会(4/20)
 - 守屋洋一委員ほか4名、活動テーマを検討
 - ・安全環境小委員会打合せ会(4/7)
 - 中川宏委員ほか4名、アセス検討方針を検討
 - セーフティアセスメント検討WG(合同)(4/13)
 - 中川宏主査ほか19名、作業方針、その他を検討
 - 山岳アセスメント検討WG(4/13)
 - 中川宏主査ほか8名、作業状況確認と方針を検討
 - シールドアセスメント検討WG(4/13)
 - 安光立也副主査ほか8名、作業状況確認と方針を検討
 - ・保守管理小委員会(4/15)
 - 浅見郁樹委員長ほか12名、講習会対策および活動テーマを検討
 - ◎受託研究特別委員会
 - ・北海道新幹線委員会(4/20, 21)
 - 三上隆委員長ほか48名、施工法ほかを検討
 - 計 8回開催 129名出席
- 合計 13回開催 193名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第43回ITA総会およびコンgres 「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society, ITA (国際トンネル協会) http://www.wtc2017.no/ (論文募集中: 5月号参照)
第44回ITA総会およびコンgres 「Smart Cities : Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com

*会議に関する詳細は事務局(担当: 関)までお問い合わせください。 TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655

4. 平成28年度催物開催現況

(平成28年4月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場見学会) 横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル)	2016. 5.20	25	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル) (施工体験発表会)	2016. 6.28	25	神奈川	
第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2016. 6.22	200	東京	
第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工 事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」 (講習会)	2016. 6.23	200	東京	
都市トンネルのための地盤改良講習会	2016. 5.18	40	東京	5.7

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますのでご覧ください。 http://www.japan-tunnel.org/event_japan

会員の皆様へお願い

各種異動届の提出はお済でしょうか。会誌の送付先など変更が生じた場合は速やかにご連絡くださいますようお願いいたします。また、新たにトンネルに携わる方にとって、会員になることは大変有意義と考えます。ぜひ加入の勧誘をお願いします。まだ、会員になられていない方もこの機会にぜひご加入をお願いします。なお、変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください。

また、当協会では、事業活動に対するご意見ご提案を受け付けています。会員の皆様のニーズを反映した諸活動を目指してまいりますので、下記メールアドレスに送信をお願いいたします。

メールアドレス webmaster@japan-tunnel.org

平成28年度定時総会のお知らせ

定款第14条の規程により平成28年度定時総会を下記のとおり開催いたします。総会議案の議決には、正会員総数の過半数の出席がなければ、議案を議決することができません。総会には、ご出席または委任状の提出による代理出席をお願いいたします。なお、総会議案は、ホームページに掲載いたしておりますのでご覧いただきますようお願いいたします。

—記—

日時: 平成28年6月14日(火) 16:00開会

場所: 弘済会館4階「菘」千代田区麹町5-1 TEL: 03-5276-0333

議題: 第1号議案 (報告事項)平成27年度事業報告について
第2号議案 (審議事項)平成27年度事業収支決算について
第3号議案 (報告事項)平成28年度事業計画について
第4号議案 (報告事項)平成28年度事業収支予算について
第5号議案 (審議事項)名誉会員の推薦について
第6号議案 (審議事項)理事および監事の選任について

※総会終了後、17:00から懇親会を同階で予定しています。

新刊図書案内

図書名: 都市部近接施工ガイドライン<図書番号 201504>

体裁: A4判, 370頁

頒布価格: 個人会員4,500円, 団体会員5,000円, 一般6,000円

(消費税込み, 送料実費負担となります。)

申し込み: TEL: 03-3524-1755, FAX: 03-5148-3655 または, E-mail: book@japan-tunnel.org に
てお申し込みください。担当: 米田

本書は、平成11年度発刊の『地中構造物の建設に伴う近接施工指針』の改訂版として、最新の事例・技術を反映したものです。発注参考図書として提示している機関に対しては、本書を紹介していただくようお願いします。

※成果品の内容については、本協会ホームページ「新刊・近刊図書案内」を参照ください。

平成28年度施工体験発表会開催のご案内

恒例の施工体験発表会を下記により開催いたします。第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」と題して14件, 第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」と題して10件について発表していただきます。トンネル工事関係者におかれましては, 施工における種々の現場事例を通じ, 技術力の向上を図るよい機会であると存じますので, 多数ご参加くださいますようお願い申し上げます。

なお, 掲載のプログラムは必要に応じ変更する場合がありますのでご了承願います。また, 詳細はホームページに掲載しておりますのでご参照願います。

—記—

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」(83頁の案内図参照)

開催日: 第78回(山岳)施工体験発表会 平成28年6月22日(水)

第79回(都市)施工体験発表会 平成28年6月23日(木)

定員: 各200名(定員になり次第締切りいたします。)

参加費: 第78回, 第79回それぞれ個人会員10,000円, 団体会員12,000円, 一般15,000円

申し込み問い合わせ先:

申し込み用紙に記載のうえ, 郵送またはFAXをもってお申し込みください。

電話での申し込みは受けませんので, ご了承願います。

(窓口)一般社団法人日本トンネル技術協会施工体験発表会係

〒104-0045 中央区築地2-11-26 築地MKビル6階

TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655

支払方法: 上記申し込みののち, 郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名, 受付番号を記入のうえ下記へお振込み願います。現金書留でも結構です。

郵便振替口座00160-7-196331 一般社団法人日本トンネル技術協会

その他: ①参加費の払戻しはいたしかねますが, 代理参加は差し支えありません。

②テキストをCDで事前に送付いたしますので, 住所などは必ずご記入願います。

※なお, 当日は印刷されたテキストを配布いたしませんので各自必要箇所をコピーのうえご持参願います。また, テキストのCDを受領し, 参加費未納で欠席した場合は, テキスト代として¥5,000を請求させていただきますのでご了解願います。

③申し込みにかかわる個人情報につきましては, 他に利用するものではありません。

第78回(山岳)施工体験発表会プログラム

「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」

開催日: 平成28年6月22日(水)

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」

- | | | | | |
|-------|---|--|-----------------------|-------|
| | 司会 | 事業委員会委員((株)安藤・間) | 鈴木 雅行 | |
| 09:30 | 開会挨拶 | 事業委員会委員長(メトロ開発(株)代表取締役社長) | 入江 健二 | |
| 09:35 | NATMおよび開削工法による国道トンネルの活線拡幅工事— | 関東地方整備局 国道127号久保坂下トンネル改良工事— | | |
| | | 青木あすなろ建設(株)土木技術本部担当課長 | 岩田 航司 | |
| 10:00 | 既設導水路直下におけるトンネル施工—長野県 上高地トンネル工事— | 戸田建設(株)本社土木技術営業部第五課主任 | 山火 智洋 | |
| 10:25 | 一般国道直下における最小土被り4.2mトンネルの施工—奥澗道路 葛山トンネル工事— | (株)奥村組西日本支社土木第一部葛山トンネル工事所監理技術者 | 山崎 泰典 | |
| 10:50 | 【休憩】 | | | |
| | 司会 | 事業委員会委員(清水建設(株)) | 江戸川修一 | |
| 11:00 | R=500mの長大カーブトンネルでの連続ベルトコンベヤ方式による急速施工— | 一県道12号原町川俣線 八木沢トンネル— | 飛鳥建設(株)八木沢トンネル作業所工事主任 | 神宮 将夫 |
| 11:25 | 長大トンネルにおける路盤泥濘化対策, 坑内環境対策, および覆工コンクリートの品質確保— | 北海道横断自動車道 天狗山トンネル工事— | | |
| | | 安藤ハザマ・佐藤工業特定建設工事共同企業体天狗山トンネル作業所所長 | 佐藤 正 | |
| 11:50 | 大断面部覆工コンクリートにおけるひび割れ抑制—国道178号浜坂道路 余部トンネル工事— | 大成建設・竹中土木・窪田工業・ソネック特別共同企業体余部・新桃観(東)トンネル工事作業所工事課長 | 畑山 昌之 | |
| 12:15 | 【昼食】 | | | |
| | 司会 | 事業委員会委員(戸田建設(株)) | 内藤 将史 | |
| 13:15 | 大規模断層出現に対するトンネル変形予測システムの適用— | 京都縦貫自動車道 丹波綾部道路 瑞穂トンネル— | | |
| | | 西松建設(株)関東土木支社湯船原トンネル出張所副所長 | 吉永 浩二 | |
| 13:40 | 住宅近接トンネルにおけるチャレンジ—新型硬岩掘削機TM-100の適用— | 一新名神高速道路 川西トンネル工事— | | |
| | | 大成建設(株)関西支店新名神川西トンネル工事作業所課長代理 | 尾崎 健 | |
| 14:05 | 早期震災復興を目指した大断面トンネル高速施工(最大月進232.5m)—国道45号 新鉄台トンネル工事— | 前田建設工業(株)東北支店新鉄台トンネル作業所副所長 | 賀川 昌純 | |
| 14:30 | レイズボーリング工法による長距離斜坑掘削—デンカ 青梅鉾山東山新切羽対策— | (株)奥村組東日本支社土木第2部デンカバイパストンネル工事所工事所長 | 田浦 義真 | |
| 14:55 | 【休憩】 | | | |
| | 司会 | 事業委員会委員(前田建設工業(株)) | 森田 篤 | |
| 15:05 | 早期供用に向けた安全, 工程, 環境に関する創意工夫—中部横断自動車道 宮狩トンネル工事— | 清水建設(株)関東支店土木部 | 菊池 順 | |
| 15:30 | 中央先進導坑を用いた小土被り未固結地山における扁平大断面トンネルの施工— | 平成25年度 1号笹原山中バイパス1号トンネル— | (株)鴻池組土木事業本部技術部課長 | 若林 宏彰 |
| 15:55 | 蛇紋岩を含む脆弱性地山の施工実績—一般国道 音威子府村 音威子府トンネル— | 鹿島・荒井特定工事共同企業体工事課長代理 | 秀島 賢保 | |
| 16:20 | 住宅地直下における大断面地中拡幅工事—横浜環状線シールドトンネル— | 大林・奥村・西武横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体工事主任 | 伊藤 憲男 | |
| 16:45 | 閉会 | | | |

第79回(都市)施工体験発表会プログラム

「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」

開催日: 平成28年6月23日(木)

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」

- 司会 事業委員会委員(東亜建設工業(株)) 久多羅木吉治
- 10:30 開会挨拶 事業委員会委員長(メトロ開発(株)代表取締役社長) 入江 健二
- 10:35 共同溝シールド工事における近接施工について—国道479号清水共同溝設置1工事—
前田建設工業(株)関西支店清水共同溝作業所工事課長 浅井 秀明
- 11:00 近接・併設施工を克服した泥土圧シールド工法による海外地下鉄工事 —シンガポール地下鉄C929工区—
西松建設(株)所長 中野 文彦
- 11:25 大規模道路シールドトンネルのランプ分合流部における切開き施工事例
—五反田出入口におけるパイプルーファーチ工法・シールド上部開削・下部先進導坑の適用—
鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部シールドグループグループ長 中川 雅由
- 11:50 泥水式シールド工法における近接重要構造物への影響抑制対策—東京都下水道局 江東幹線工事—
大豊建設(株)東京支店江東幹線シールド作業所監理技術者 鈴木 高広
- 12:15 【昼食】
- 司会 事業委員会委員(東京都交通局) 吉村 正
- 13:15 ハーモニカ工法マルチタイプを採用したアンダーパスの築造—圏央道桶川北本地区函渠その1工事—
大成建設(株)土木本部土木技術部都市土木技術室課長 飯島 知哉
- 13:40 湧水が多い崩壊性岩盤でのシールド掘進と山岳トンネルとの地中接合に関する施工
—富士ライン建設工事のうち土木工事(A1工区)—
(株)大林組富山ラインA-1工区工事事務所主任 三井 仁哉
- 14:05 軟岩層を有する超軟弱性土地盤におけるシールド掘進管理—宮城県塩竈市中央第2貯留管築造工事—
(株)奥村組東日本支社東北支店土木第2部主任 曾我部貴久
- 14:30 【休憩】
- 司会 事業委員会委員((株)熊谷組) 金田 則夫
- 14:40 H & Vシールド工法による下水道管の再構築について—大東門真増補幹線(第4工区)—
前田建設工業(株)東京土木支店永田町作業所所長 安田 茂人
- 15:05 鉄道営業線近接の大規模改良工事におけるプレキャスト部材の活用
—有楽町線小竹向原~千川間連絡線設置千川工区土木工事—
東京地下鉄(株)改良建設部第二工事事務所改良建設係 辻口 貴大
- 15:30 内部補強を併用した, 供用中の地下鉄トンネルに対する補強工事—みなとみらい線 高島トンネル—
清水建設(株)土木東京支店工事長 神保 誠二
- 15:55 閉会

【施工体験発表会参加申込書】

平成28年 月 日

一般社団法人日本トンネル技術協会

施工体験発表会係あて

FAX: 03-5148-3655 TEL: 03-3524-1755

下記のとおり申し込みいたします。

発表会名	<input type="checkbox"/> 第78回(山岳), <input type="checkbox"/> 第79回(都市)(<input type="checkbox"/> に√印願います)		
参加者氏名		年齢	
電話	—	—	
会社名			
住所	〒		
所属役職			
会員種別	<input type="checkbox"/> 個人会員, <input type="checkbox"/> 団体会員, <input type="checkbox"/> 一般(非会員)(<input type="checkbox"/> に√印願います)		



虎ノ門発明会館「地下ホール」
 銀座線「虎ノ門」駅 3番出口より徒歩5分
 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目9番14号
 TEL: 03-3502-5499

7月号予告[7月1日発売予定]

- 覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究
- 中部横断自動車道 城山トンネル
- 新東名高速道路豊田東JCT～いなさJCT間のトンネル群
- 八鹿日高道路三谷トンネル・中部横断自動車道宮狩トンネル
- 堺市下水道 百舌鳥深井汚水線
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(8)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆震度7を記録した熊本地震からまもなく2か月です。新幹線や高速道路は復旧しましたが、まだ避難生活を余儀なくされている方が数多くいます。各地から多くの支援が集まり、多くのボランティアの方々が熊本に集結し、被災した方の力となっています。また、全国各地で募金箱が設置され、老若男女を問わず募金をしている姿をよく見かけます。これから梅雨時期に入りますが、この地域は、昨年には梅雨前線が活発化した影響で大雨に見舞われ、平成24年には、激甚災害にも指定された「平成24年7月九州北部豪雨」など大きな被害に見舞われています。今後の気象状況には細心の注意を払ってください。

◆毎年各地で大きな災害に見舞われ、その復旧作業に多くの人員とお金が必要になります。このようなことをできるだけ避けるために、人命を守り、経済社会への被害が致命的なものにならないように「強さとしなやかさ」を備えた国土、経済社会システムの構築を目指し国土強靱化計画が策定されました。これから熊本地震の復旧・復興事業が本格的に始まると思いますが、震災前よりも強靱化した熊本として生まれ変わって、安心して暮らせる日まで支援して行きたいと思えます。そして1日も早く住民の方が元の生活に戻れることを切に望みます。

(K.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第47巻 第6号(通巻550号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成28年5月20日 印刷

平成28年6月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、小社より振込用紙をお送りいたします。

購読料

1冊 1,620円(送料110円)
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。
TEL: 03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能!



- クラス最高の集じん効率95%*
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現

吸引捕集方式にも対応



48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

$$Fo = 360 \times 22\text{m}^3/\text{h} \times 0.75 = 5,940(\text{mg}/\text{min})$$

② 所要換気量

$$Q4a = \frac{5,940}{3.0-0.07} = 2,027(\text{m}^3/\text{min})$$

$$Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081(\text{m}^3/\text{min})$$

③ 集じん機の選定

$$Qs = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686(\text{m}^3/\text{min}) \leq 2,750(\text{m}^3/\text{min})$$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m ³ /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m ³ /min 任意設定の4モード*
全長 ^{※1}	7411mm(サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高 ^{※2}	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水 ^{※3}	2.4~3.2m ³ /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率 ^{※4}	95%以上	
吸引捕集方式	対応可	

注)伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞リダクトは含まれません。※2 台車および揚重用治具の高さは含まれません。※3 機種により多少異なります。※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

△古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社

URL: http://www.furukawa-sanki.co.jp/

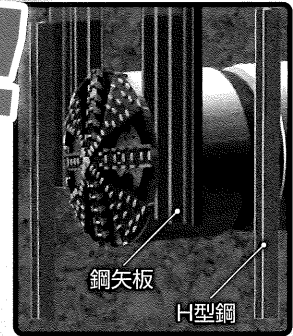
本社
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
第三営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小田原工場 ☎0285-23-8662

ビットで斬る! 杭を斬る!

支障物用ビット

三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型钢、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。



特長

切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。

泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。

切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。

周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

施工実績



φ2680泥土圧シールド
H型钢(300H)×8本
鋼矢板(IV型)×2面



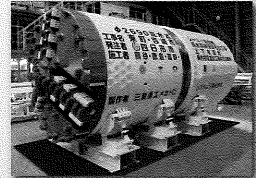
φ4240泥土圧シールド
H型钢(350H)×6本
鋼矢板(VI型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型钢(250H)×2本
鋼矢板(III型)×2面



φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800, φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(II、III型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2872 FAX.078-672-2869

東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,620円
本体価格1,500円

雑誌06619-6



4910066190668
01500